



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
EN LAS COMUNIDADES PICHÁN CENTRAL, CHOCAVÍ CHICO Y  
CHOCAVÍ CENTRAL DE LA PARROQUIA SAN ISIDRO DE PATULÚ”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**ÁNGEL ROBERTO NÚÑEZ FALCONÍ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

*Agradezco a Dios y a la Virgen, por guiar mi camino, por perdonarme los errores que he cometido, y por poner en mi vida personas incomparables.*

*A mis Padres Ángel y Dolores por su incondicional apoyo, paciencia y ejemplo de vida, han estado junto a mí en todo momento y nada más bonito que ver su sonrisa al terminar esta etapa de mi vida.*

*A mi hermana, Nadia a pesar de que no la veo mucho es quien de cualquier modo siempre estuvo a mi lado apoyándome, eres una mujer irrepetible, la valentía, carisma y humildad detallan tu valiosa forma de ser.*

*A Cristina, mi compañera de vida, aunque discutamos y discutamos siempre hemos estado uno junto al otro. Gracias por aparecer y ser un ejemplo a seguir para mí.*

*Al Ing. Mario y al Ing. Hugo; Director y Miembro del Tribunal de Tesis, quienes con sus conocimientos, consejos y experiencia contribuyeron en la realización de este trabajo de investigación.*

*A mis amigos y compañeros por hacer de este largo camino algo realmente único, cuántas risas y cuántos momentos inolvidables hemos compartido.*

*Ángel R. Núñez Falconí*

*Dedico este trabajo a Dios por bendecir mi camino y darme la oportunidad de estar aquí terminando una etapa en mi vida, además de rodearme de las mejores personas que hacen más agradable mi diario caminar.*

*A mi familia, compañeros, amigos y profesores quienes confiaron en mí, con quienes he compartido buenos y malos momentos; que sus vidas estén llenas de bienestar, éxitos y bendiciones.*

*Ángel R. Núñez Falconí*

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. César Ávalos

.....

.....

**DECANO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS**

Ing. Mario Villacrés

.....

.....

**DIRECTOR DE LA ESCUELA  
DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Ing. Mario Villacrés

.....

.....

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Hugo Calderón

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Eduardo Tenelanda

.....

.....

**DIRECTOR DEL CENTRO  
DE DOCUMENTACIÓN**

**NOTA DE TESIS**

.....

**“Yo,    ÁNGEL    ROBERTO  
NÚÑEZ    FALCONÍ,    soy  
responsable de las ideas, doctrinas  
y resultados expuestos en esta Tesis,  
y el patrimonio intelectual de la  
Tesis de Grado pertenecen a la  
ESCUELA            SUPERIOR  
POLITÉCNICA            DE  
CHIMBORAZO”.**

---

*Ángel Roberto Núñez Falconí.*

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$a$	Separación entre tabiques
$a_f$	Ancho del filtro
$A$	Sección o área transversal de los canales
$A_f$	Área del filtro
$A_o$	Área de los orificios laterales
$A_s$	Área de sedimentación acelerada
$A_{Tc}$	Área del tanque de desinfección para la mezcla de cloro
$b$	Espesor de cada lámina o tabique
$b_p$	Espesor de las placas del sedimentador
$B$	Ancho del vertedero
$B_F$	Ancho del floculador
$B_s$	Ancho del tanque de sedimentación
$B_{Tc}$	Ancho del tanque de desinfección para la mezcla de cloro
$cm$	Centímetros
$C$	Concentración de PAC
$C_a$	Altura de la capa de agua
$C_{Cl}$	Concentración del cloro
$C_s$	Altura de la capa de soporte (grava)
$CU$	Coefficiente de uniformidad de la arena
$d$	Día
$D$	Dosis de cloro necesario
$D_o$	Diámetro del orificio
$D_T$	Diámetro de la tubería de entrada al filtro
$D_{Ts}$	Diámetro de la tubería de salida del filtro
$e$	Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque
$e_p$	Distancia entre placas
$F$	Número de Froude
$F_c$	Altura del drenaje
$g$	Aceleración de la gravedad

G	Gradiente de velocidad
$G_t$	Número adimensional de Camp
h	Pérdida de energía en el resalto
$h_1$	Profundidad supercrítica
$h_2$	Profundidad subcrítica
$h_a$	Pérdidas adicionales
$h_c$	Profundidad crítica de flujo
$h_f$	Pérdidas por fricción en el tanque
$h_T$	Pérdida de energía total
H	Pérdida de energía en el resalto del vertedero
$H_{Tc}$	Altura del tanque de desinfección para la mezcla de cloro
km	Kilómetros
K	Constante empírica
$K_1$	Consumo máximo diario
$K_c$	Coeficiente de mínimo costo
Kg	Kilogramos
Kg/d	Kilogramos por día
l	Longitud efectiva de cada canal
L	Distancia o longitud recorrida por el agua
$L'$	Longitud relativa en la región de transición
$L_a$	Altura del lecho filtrante
$L_c$	Longitud relativa corregida
$L_f$	Longitud del filtro
$L_j$	Longitud del resalto
$L_m$	Longitud del salto
$L_r$	Longitud relativa del sedimentador
$L_s$	Longitud del área de sedimentación acelerada
$L_T$	Longitud total de la cámara de floculación
$L_{Tc}$	Longitud del tanque de desinfección para la mezcla de cloro
L/d	Litros por día
L/s	Litros por segundo
m	Metros

$m^2$	Metros cuadrados
$m^3$	Metros cúbicos
mg	Miligramos
min	Minutos
mil	Mililitros
mm	Milímetros
m/d	Metros por día
m/min	Metros por minuto
m/s	Metros por segundo
mg/L	Miligramos por litro
n	Coeficiente de Manning
$n_f$	Número de filtros
$n_t$	Intervalo de tiempo
N	Número requerido de canales
$N_L$	Número de laterales
$N_p$	Número de placas
$N_{Re}$	Número de Reynolds
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad
P	Altura de la pared del vertedero
$P_a$	Población actual
$P_{Cl}$	Peso de cloro necesario
$P_f$	Población futura
q	Caudal por unidad de ancho
Q	Caudal de diseño
$Q_{md}$	Caudal medio diario
$Q_{Md}$	Caudal máximo diario
$Q_o$	Caudal que ingresa a cada orificio
r	Tasa de crecimiento de la población
R	Radio hidráulico
s	Segundos
S	Cantidad de cloruro de sodio
t	Tiempo



$t_1$	Tiempo óptimo de lavado del filtro
$t_m$	Tiempo de mezcla
$t_{rp}$	Tiempo de retención en las placas
$t_{rs}$	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación
$T$	Periodo de almacenamiento del cloro
$TE$	Tamaño efectivo de la arena
$UFC$	Unidades formadoras de colonias
$v$	Velocidad de flujo
$v_1$	Velocidad del agua en el salto
$v_2$	Velocidad del agua en el resalto
$v_e$	Velocidad del agua a través de la tubería de entrada
$v_l$	Velocidad óptima de lavado
$v_m$	Velocidad media en el resalto
$v_o$	Velocidad en cada orificio
$v_s$	Velocidad del agua a través de la tubería de salida
$v_{Sc}$	Velocidad crítica de sedimentación
$v_{So}$	Carga superficial o velocidad promedio después de instalar las placas
$V$	Volumen de agua
$V_l$	Cantidad de agua para el lavado del filtro
$V_H$	Volumen del hipoclorador
$V_{Tc}$	Volumen del tanque de desinfección para mezcla de cloro
$V_{Ts}$	Volumen del sedimentador
$x$	Dosificación de PAC
$Z_f$	Altura del filtro
$Z_s$	Altura del sedimentador
$Z_{Tf}$	Profundidad total del tanque de floculación
$\%$	Porcentaje
$\theta$	Ángulo de inclinación de las placas del sedimentador
$\gamma$	Peso específico del agua
$\mu$	Viscosidad dinámica del agua
$\nu$	Viscosidad cinemática del agua
$\rho$	Densidad del P

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
ANTECEDENTES.....	IV
JUSTIFICACIÓN.....	V
OBJETIVOS.....	VI

### CAPÍTULO I

1	MARCO TEÓRICO .....	1
1.1	AGUA.....	1
1.2	AGUA POTABLE.....	1
1.3	CALIDAD DEL AGUA .....	2
1.3.1	DETERIORO EN LA CALIDAD DEL AGUA.....	2
1.3.2	PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA .....	3
1.4	ECOSISTEMAS NATURALES DEL AGUA .....	5
1.4.1	IMPORTANCIA DE LOS PÁRAMOS .....	6
1.4.2	PÁRAMOS EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO .....	6
1.5	AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	7
1.5.1	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	8
1.6	AGUA ENTUBADA.....	8
1.6.1	CONTAMINACIÓN DEL AGUA ENTUBADA.....	9
1.7	CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA	10
1.7.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....	10
1.7.2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS .....	13
1.7.3	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS .....	17
1.8	MUESTREO DE AGUAS.....	21
1.8.1	MÉTODOS DE MUESTREO .....	21
1.8.2	TIPOS DE MUESTRAS .....	22
1.9	MEDICIÓN DE CAUDAL .....	24
1.9.1	METODO VOLUMÉTRICO .....	24

1.9.2	MÉTODO VELOCIDAD-ÁREA.....	24
1.10	PROCESOS Y OPERACIONES DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	25
1.10.1	CAPTACIÓN .....	25
1.10.2	CONDUCCIÓN.....	26
1.10.3	MEZCLA RÁPIDA .....	26
1.10.4	COAGULACIÓN QUÍMICA .....	29
1.10.5	FLOCULACIÓN QUÍMICA .....	33
1.10.6	DIFERENCIA ENTRE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN .....	38
1.10.7	SEDIMENTACIÓN .....	39
1.10.8	FILTRACIÓN .....	42
1.10.9	DESINFECCIÓN .....	46
1.11	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN....	48
1.11.1	CAUDAL DE DISEÑO.....	48
1.11.2	MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDERO RECTANGULAR .....	55
1.11.3	FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL .....	64
1.11.4	DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO EN LA ETAPA DE FLOCULACIÓN .....	73
1.11.5	SEDIMENTADOR LAMINAR .....	78
1.11.6	FILTRACIÓN RÁPIDA EN ARENA .....	87
1.11.7	DESINFECCIÓN .....	96

## **CAPÍTULO II**

2	PARTE EXPERIMENTAL.....	99
2.1	DIAGNOSTICO .....	99
2.2	MUESTREO.....	99
2.2.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	99
2.2.2	MÉTODO DE RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	99
2.2.3	PLAN DE MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS .....	100
2.3	METODOLOGÍA.....	101
2.3.1	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	101
2.3.2	TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS .....	103
2.3.3	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	105

2.4	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	107
2.4.1	MÉTODOS .....	107
2.4.2	TÉCNICAS.....	109
2.5	DATOS EXPERIMENTALES.....	126
2.5.1	SITUACIÓN INICIAL – CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE CAPTACIÓN .....	126
2.5.2	PARÁMETROS DE NO CUMPLIMIENTO DE LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011. CUARTA REVISIÓN. AGUA POTABLE. REQUISITOS.....	130

### **CAPÍTULO III**

3	CÁLCULOS Y RESULTADOS .....	134
3.1	CÁLCULOS .....	134
3.1.1	PRUEBAS DE TRATABILIDAD .....	134
3.1.2	PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA .....	136
3.1.3	DIMENSIONAMIENTO DE LAS ETAPAS DE POTABILIZACIÓN.....	138
3.1.4	REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO .....	181
3.2	RESULTADOS .....	184
3.2.1	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD .....	184
3.2.2	RESULTADOS DE LA SITUACIÓN FINAL – CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA.....	187
3.2.3	RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS ETAPAS DE POTABILIZACIÓN .....	195
3.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	201

### **CAPÍTULO IV**

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	202
4.1	CONCLUSIONES .....	202
4.2	RECOMENDACIONES .....	204
	BIBLIOGRAFÍA.....	205

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Parámetros para el Agua de Consumo Humano .....	19
Tabla 1. 2 Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable – OMS (1992) .....	20
Tabla 1. 3 Población por comunidad de la Parroquia San Isidro de Patulú.....	49
Tabla 1. 4 Población en el año 2014 de las comunidades donde se realizará el diseño .	50
Tabla 1. 5 Nivel de Complejidad del Sistema .....	51
Tabla 1. 6 Pérdidas Técnicas, según el nivel de complejidad del sistema.....	52
Tabla 1. 7 Dotación Neta, según el nivel de complejidad del sistema .....	53
Tabla 1. 8 Valores de $K_1$ .....	54
Tabla 1. 9 Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión.....	63
Tabla 1. 10 Parámetros de Diseño de Vertederos Rectangulares .....	63
Tabla 1. 11 Parámetros de Diseño para Floculadores Hidráulicos de Tabiques.....	72
Tabla 1. 12 Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning .....	72
Tabla 1. 13 Parámetros de Diseño de Floculadores de Tabiques .....	73
Tabla 1. 14 Tipos de Flujo según el Número de Reynolds.....	83
Tabla 1. 15 Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares .....	85
Tabla 1. 16 Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto - Cemento.....	86
Tabla 1. 17 Valores de $S_c$ Típicos .....	86
Tabla 1. 18 Viscosidad Cinemática del Agua en función de la Temperatura a 1 Atmósfera.....	86
Tabla 1. 19 Parámetros de Diseño de Filtros rápidos de Arena.....	94
Tabla 1. 20 Parámetros de Diseño de laterales .....	95
Tabla 1. 21 Velocidades de Diseño para tuberías del filtro .....	95
Tabla 1. 22 Demanda de Cloro para Aguas .....	98
Tabla 1. 23 Parámetros de diseño para tanques .....	98
Tabla 2. 1 Parámetros de Caracterización del Agua de Captación.....	104
Tabla 2. 2 Equipos, Materiales y Reactivos.....	106
Tabla 2. 3 Métodos de Análisis .....	107

Tabla 2. 4 Técnica para determinar el pH.....	109
Tabla 2. 5 Técnica para determinar el color .....	110
Tabla 2. 6 Técnica para determinar la turbiedad .....	111
Tabla 2. 7 Técnica para determinar la conductividad .....	112
Tabla 2. 8 Técnica para determinar los sólidos totales .....	113
Tabla 2. 9 Técnica para determinar los sólidos disueltos .....	114
Tabla 2. 10 Técnica para determinar la dureza .....	114
Tabla 2. 11 Técnica para determinar el calcio .....	115
Tabla 2. 12 Técnica para determinar el magnesio .....	116
Tabla 2. 13 Técnica para determinar la alcalinidad .....	116
Tabla 2. 14 Técnica para determinar los cloruros.....	117
Tabla 2. 15 Técnica para determinar los sulfatos .....	118
Tabla 2. 16 Técnica para determinar los amonios .....	119
Tabla 2. 17 Técnica para determinar los nitritos .....	120
Tabla 2. 18 Técnica para determinar los nitratos.....	121
Tabla 2. 19 Técnica para determinar el hierro .....	122
Tabla 2. 20 Técnica para determinar los fosfatos .....	123
Tabla 2. 21 Técnica para determinar los fluoruros .....	124
Tabla 2. 22 Técnica para determinar las coliformes totales y coliformes fecales .....	125
Tabla 2. 23 Análisis Físico, Químico del Agua de Captación.....	127
Tabla 2. 24 Análisis Microbiológico del Agua de Captación.....	129
Tabla 2. 25 Parámetros Físicos y Químicos fuera de Norma .....	130
Tabla 2. 26 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma.....	132
Tabla 3. 1 Proyección de la Población.....	139
Tabla 3. 2 Costos de Accesorios Equipos y Estructuras.....	181
Tabla 3. 3 Costos de Instalación Hidráulica y mano de obra de construcción .....	183
Tabla 3. 4 Costos Totales de Inversión.....	183
Tabla 3. 5 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad.....	184
Tabla 3. 6 Resultados Físicos - Químicos del Agua captada y del agua tratada .....	188
Tabla 3. 7 Resultados Microbiológicos del agua captada y del agua tratada .....	193
Tabla 3. 8 Resultados de Caudal de Diseño.....	195

Tabla 3. 9 Resultados de Vertedero Rectangular.....	196
Tabla 3. 10 Resultados de Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	197
Tabla 3. 11 Resultados de Dosificación de PAC .....	198
Tabla 3. 12 Resultados de Sedimentador Laminar .....	198
Tabla 3. 13 Resultados de Filtro Rápido de Arena .....	199
Tabla 3. 14 Resultados de Desinfección .....	200

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Mezcladores Mecánicos .....	27
Figura 1. 2 Tipos de Vertederos.....	29
Figura 1. 3 Coagulación Química .....	30
Figura 1. 4 Floculador Hidráulico de Flujo horizontal .....	36
Figura 1. 5 Sedimentador Laminar .....	41
Figura 1. 6 Filtro lento de Arena.....	42
Figura 1. 7 Filtro rápido de Arena .....	43
Figura 1. 8 Filtración con arena fina y grava.....	45
Figura 1. 9 Vertedero Rectangular de Flujo horizontal .....	55
Figura 1. 10 Floculador Hidráulico de flujo horizontal con Tabiques.....	64
Figura 1. 11 Prueba de Jarras.....	75
Figura 1. 12 Sedimentador Laminar .....	78
Figura 1. 13 Filtro Rápido de Arena .....	87
Figura 2. 1 Recolección de Muestras.....	100
Figura 2. 2 Técnicas de Recolección de Muestras.....	101
Figura 2. 3 Técnicas de Recolección de muestras en la Captación .....	102
Figura 2. 4 Conservación de Muestras.....	103
Figura 3. 1 Prueba de jarras – Solución Estándar .....	135
Figura 3. 2 Prueba de jarras – Dosificación de PAC .....	136
Figura 3. 3 Diagrama de Bloques del Sistema de Tratamiento de Potabilización de Agua Propuesto .....	137
Figura 3. 4 Dimensiones del Vertedero Rectangular de Flujo Horizontal.....	151
Figura 3. 5 Dimensiones del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	161
Figura 3. 6 Dimensiones del Sedimentador Laminar .....	169
Figura 3. 7 Dimensiones del Filtro Rápido de Arena .....	176
Figura 3. 8 Drenaje del filtro con tuberías perforadas .....	177
Figura 3. 9 Dimensiones del Tanque para Mezcla de Cloro.....	180



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2. 1 Parámetros Físicos y Químicos fuera de Norma .....	131
Gráfico 2. 2 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma .....	133
Gráfico 3. 1 PAC empleado vs Color .....	185
Gráfico 3. 2 PAC empleado vs Turbidez .....	185
Gráfico 3. 3 PAC empleado vs Hierro .....	186
Gráfico 3. 4 PAC empleado vs pH .....	186
Gráfico 3. 5. Comparación de resultados Físicos del Agua Captada y del Agua Tratada .....	190
Gráfico 3. 6 Comparación de resultados Químicos del Agua Captada y del Agua Tratada .....	191
Gráfico 3. 7 Comparación de resultados Químicos del Agua Captada y del Agua Tratada (2).....	192
Gráfico 3. 8 Comparación de resultados Microbiológicos del agua captada y del agua Tratada .....	194

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS
ANEXO III	VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES PARA EL AGUA POTABLE-OMS (1992)
ANEXO IIII	PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATMOSFERA
ANEXO IV	FICHA TÉCNICA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
ANEXO V	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M1
ANEXO VI	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M2
ANEXO VII	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M3
ANEXO VIII	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M4
ANEXO IX	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIÓLOGO DEL AGUA CRUDA – M1
ANEXO X	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIÓLOGO DEL AGUA CRUDA – M2
ANEXO XI	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIÓLOGO DEL AGUA CRUDA – M3
ANEXO XII	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS PARÁMETROS FUERA DE NORMA DEL AGUA TRATADA
ANEXO XIII	PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
ANEXO XIV	PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DEL FILTRO RÁPIDO DE ARENA
ANEXO XV	PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO

ANEXO XVI	PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DEL HIPOCLORADOR POR GOTEO
ANEXO XVII	ESQUEMA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
ANEXO XVIII	MEZCLADOR – VERTEDERO RECTANGULAR
ANEXO XIX	VISTA FRONTAL DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL
ANEXO XX	VISTA PLANTA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL
ANEXO XXI	SEDIMENTADOR LAMINAR
ANEXO XXII	ESQUEMA DE LAS PLACAS DEL SEDIMENTADOR LAMINAR
ANEXO XXIII	FILTRO RÁPIDO DE ARENA
ANEXO XXIV	DESINFECCIÓN (TANQUE DE CLORACIÓN)

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento para la potabilización del agua en las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia de San Isidro de Patulú, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo para obtener agua potable de calidad que mejore las condiciones de vida de los habitantes de las mencionadas comunidades.

Se tomaron cuatro muestras de agua en la captación en el transcurso de 1 mes para la caracterización físico – química y microbiológica, los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, identificando que los parámetros se encontraban fuera de los límites máximos permitidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2011. Siendo estos: color 198 Unid. (Pt-Co); turbiedad 19,8 NTU; hierro 2,824 mg/l; coliformes totales: 8 UFC/100 ml y coliformes fecales: 3 UFC/100 ml. Conforme a esta caracterización efectuada se determinó la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento, que permita reducir los valores de los parámetros descritos para dar cumplimiento al reglamento de la norma establecida; el diseño consta de 5 etapas: mezcla rápida en vertedero rectangular, floculación utilizando policloruro de aluminio, sedimentación laminar, filtración y finalmente desinfección.

Posterior a la aplicación del sistema de tratamiento de potabilización se caracterizó al agua tratada, obteniéndose los siguientes resultados; color: 8 Unid. (Pt-Co); turbiedad 2 NTU; hierro 0,05 mg/l; coliformes totales: 0 UFC/100 ml y coliformes fecales: 0 UFC/100 ml. Notando que los mismos cumplen con los límites establecidos por la norma.

Se concluye que los parámetros analizados permitieron determinar los componentes de la planta de tratamiento para que la misma tenga una alta eficiencia en la potabilización del agua consiguiendo que sea apta para el consumo humano. Se recomienda implementar el sistema de tratamiento para garantizar agua potable de calidad que preserve la salud y contribuya al desarrollo humano y económico de los habitantes mediante el abastecimiento del líquido vital.

## ABSTRACT

It was designed a treatment system for water potabilisation at the communities Pichan Central, Chocavi Chico and Chocavi Central from San Isidro de Patulu Parish, Guano canton, Chimborazo province, in order to get quality fresh water to improve life conditions of the inhabitants there.

Four samples of water were taken in the pond along one month for the physical-chemical and microbiological characterization, the analysis were carried out at the laboratory of Technical analysis of the Faculty of Science at ESPOCH, having been found that the parameters were beyond of the maximum limits allowed by the Ecuadorian Technical Norm INEN 1108: 2011. The results are: color 198 units. (Pt-Co); blur 19,8 NTU; Iron 2,824 mg/l; total coliforms: 8 UFC/100 ml and fecal coliforms: 3 UFC/100 ml. According to this characterization, it was determinated that the need to design a treatment system which allow to reduce the rate of these parameters and so, to accomplish with the regulation of the norm; the design has 5 stages: a brief mixture of the rectangular bowl, flocculation by means of the use of polichlorine of aluminum, layer sedimentation, filtration and finally disinfection.

After the application of the potabilisation system, the treated water was characterized, having as a result; color 8 units. (Pt-Co); blur 2 NTU; Iron 0,05 mg/l; total coliforms: 0 UFC/100 ml and fecal coliforms: 0 UFC/100 ml. So they respond to the limits set in the norm.

In short, the parameters analyzed allowed to determine the components of the treatment plant so it has high efficiency in the potabilisation of water and for instance, safe for human consumption.

It is recommended to implement the treatment system in order to guarantee quality fresh water which preserves health and help to human and economic development of the inhabitants through water supply.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para el sostenimiento de la vida, además del desarrollo social y cultural de un determinado grupo humano, el aprovisionamiento de agua potable debe ser seguro y satisfactorio para las necesidades de uso doméstico, comercial e industrial de quienes la utilizamos, sin embargo este recurso tan importante puede verse degradado y amenazado por las situaciones climáticas, por falta del cuidado humano, o por la ausencia o deficiencia de un sistema de tratamiento que garantice la calidad de la misma.

La Junta Parroquial de San Isidro de Patulú se ha preocupado por potabilizar el agua que se provee a las comunidades de Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central por ello se me ha permitido realizar el presente trabajo investigativo para de esta manera diseñar un sistema de tratamiento que solvante de la forma más adecuada las carencias de agua potable en las ya mencionadas comunidades, cuya principal fuente es la proveniente de las vertientes de los Páramos del Igualata, la misma no cuenta con un sistema de potabilización.

.

El presente trabajo de tesis aportará información valiosa para las autoridades de turno, en cuya gestión estará el beneficio de la población, que es la de tener agua potable que cumpla con los requisitos de los parámetros de calidad; de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y a los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).

## **ANTECEDENTES**

La Creación de la Parroquia de San Isidro de Patulú se realizó el 27 de enero de 1894, en el Gobierno de Luis Cordero. Los Fundadores fueron: Fidel Calderón, Leandro Aguiar, Fidel Ávalos, Juan Badillo, Lorenzo Barreno Calderón, Cleodomira Guevara, Leonardo Rivera Cabezas, y otros.

La parroquia de San Isidro de Patulú cuenta con 16 comunidades, las mismas son: Pulug, Cochapamba, Chocaví Chico, Chocaví Central, Pichán Grande, Pichán San Carlos, Pichán Central, Igualata, San Antonio de Tumbo, San Francisco, Santa Rosa, Asaco, Tutupala, La Josefina, Tembo y Liguinde. Además cuenta con 4 barrios que son: Barrio La Delicia, Barrio San Rafael, Barrio 15 de mayo y el Barrio Central.

San Isidro de Patulú en su totalidad posee una extensión de 7846 hectáreas y cuenta con una población total de 4786 habitantes. La parroquia San Isidro de Patulú forma parte del cantón Guano, provincia de Chimborazo, ubicada en la Sierra Central del Ecuador.

La parroquia se encuentra situada a 3.142 msnm, la composición del suelo va desde el suelo negro hasta el suelo franco arenoso y arcilloso. El clima se encuentra entre 5°C y 18°C en condiciones normales.

La Junta Parroquial de San Isidro de Patulú, priorizando la salud y el bienestar de sus habitantes además del cuidado del medio ambiente, ha dado acogida al estudio de este proyecto de tesis, para 3 de sus comunidades, Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central. Esto contribuirá a mejorar la calidad del agua de consumo y a la vez minimizar los impactos ambientales y humanos.

## JUSTIFICACIÓN

El agua entubada para consumo de la comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia San Isidro de Patulú, al momento no recibe un tratamiento previo a su distribución, por lo que el agua que es consumida por los moradores no es de buena calidad y se considera necesario ofrecer un suministro de agua potable de excelentes características que cumpla con los límites máximos permisibles de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y a los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).

Por ello se propone el presente tema de tesis cuyo objeto es el diseño de un sistema de tratamiento para potabilizar el agua, que abastezca a la población actual y a la población futura de las mencionadas comunidades. De las comunidades de la parroquia de San Isidro de Patulú se ha conocido mediante datos proporcionados por la Junta Parroquial que el 65,30% de los habitantes tienen acceso a agua de riego, pero el caudal de las cuencas hídricas es muy escaso ya que las micro cuencas de los ríos cercanos, no abastecen las necesidades de los cultivos.

Además en lo que se refiere al acceso al agua potable se manifiesta que solo la cabecera parroquial tiene este servicio y en las 16 comunidades y 3 barrios solo reciben el servicio de agua entubada, PVC y mangueras, cabe mencionar que dicho caudal de agua en raras ocasiones es clorada.

La demanda en la calidad y cantidad de agua en cada una de las comunidades de San Isidro de Patulú y el poder contribuir de cierta manera al desarrollo de la vida en la misma justifica la realización de esta tesis.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un sistema de tratamiento para la potabilización del agua en las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia de San Isidro de Patulú.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua en la captación, identificando los parámetros de calidad; de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y a los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).
- Establecer el sistema de tratamiento de agua más adecuado, planteando alternativas de viabilidad técnica, en base a los parámetros identificados en la caracterización, y en las pruebas de tratabilidad.
- Realizar cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de potabilización del agua.
- Efectuar la caracterización físico – química y microbiológica del agua posterior al diseño del sistema de tratamiento de potabilización, en base a los parámetros de calidad; de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y a los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).
- Determinar los costos totales de inversión tentativos que tendría la instalación del sistema de tratamiento de potabilización de agua propuesto.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO I**

### **1 MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 AGUA**

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insípido que está compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso.

#### **1.2 AGUA POTABLE**

Se llama agua potable al agua dulce que después de ser sometida a un proceso de potabilización se convierte en agua apta para el consumo humano; de esta manera, el agua de este tipo, podrá ser consumida sin ningún tipo de restricciones.

El agua deja de ser potable cuando presenta partículas no disueltas, elementos con toxicidad, virus o bacterias. En estos casos, el consumo de agua se encuentra prohibido ya que estos componentes pueden generar enfermedades a quien la bebe.

La falta de agua potable supone uno de los problemas sanitarios más graves de la actualidad y seguirá agravándose con el pasar de los años.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Agua potable y sus Características. <http://radio.rpp.com.pe/cuidaelagua/%C2%BFque-es-el-agua-potable/>

### **1.3 CALIDAD DEL AGUA**

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana.

Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evaporación y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. Aguas puras, en el sentido estricto de la palabra, en la naturaleza no existen; por ende, se usan los conceptos de agua segura y de agua potable.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

#### **1.3.1 DETERIORO EN LA CALIDAD DEL AGUA**

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico.

A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización<sup>2</sup>. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la actividad agrícola y de las aguas residuales domésticas (también fuente de contaminación microbiana), de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales.

---

<sup>2</sup> La eutrofización es un tipo de contaminación química de las aguas. Se da cuando hay un aporte excesivo de nutrientes a un ecosistema acuático, el cual queda severamente afectado por ello.

Los lagos y los pantanos son especialmente susceptibles a los impactos negativos de la eutrofización debido a su complejo dinamismo, con un periodo de residencia del agua relativamente largo, y al hecho de que concentran los contaminantes procedentes de las cuencas de drenaje.

Además de lo estrictamente relacionado a la salud, la satisfacción del consumidor es de esencial importancia. Por ello es fundamental poner especial atención a la serie de problemas que pueden darse en la fuente de origen del agua, dentro del sistema de tratamiento, en los sistemas de distribución o en la instalación de la fontanería en el lugar de consumo.

La baja calidad del agua afecta directamente sobre la cantidad de agua de diversas maneras. El agua contaminada que no puede utilizarse para consumo, para baño, para la industria o la agricultura reduce de forma efectiva la cantidad de agua disponible en una determinada zona.<sup>3</sup>

### 1.3.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA

Con el incremento de la población y el surgimiento de la actividad industrial, la contaminación en ríos, lagos y otras fuentes de agua aumenta constantemente. Debe considerarse que una porción de agua está polucionada, cuando su composición se encuentran alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones establecidas por las normas en rigor. Las principales sustancias contaminantes del agua son:

- **Microorganismos Patógenos:** Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que pueden llegar a transmitir enfermedades como el cólera, tifus, diversas gastroenteritis, hepatitis, etc.
- **Desechos Orgánicos:** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc.

---

<sup>3</sup> Calidad del Agua. <http://www.banrepcultural.org/evento/el-deterioro-del-agua>

- **Sustancias Químicas Inorgánicas:** En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.
- **Nutrientes Vegetales Inorgánicos:** Dentro de este grupo se encuentran nitratos y fosfatos que son sustancias solubles en agua, que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando eutrofización en las aguas.
- **Compuestos Orgánicos:** Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc., acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
- **Sedimentos y Materiales Suspendidos:** Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas junto con otros materiales que están en suspensión en las aguas, son en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación de las mismas.
- **Sustancias Radioactivas:** Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces se pueden ir acumulando a lo largo de las corrientes acuáticas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.
- **Contaminación Térmica:** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales, eleva en ocasiones la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Principales Contaminantes del Agua. <http://www.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/050201.htm>

#### **1.4 ECOSISTEMAS NATURALES DEL AGUA**

Tipos de ecosistemas naturales del agua son los **páramos** que se distribuyen en las partes más altas de las montañas constan de: espacios de nieblas, lloviznas y nubes adheridas a las rocas y al viento. Lugares encubiertos, sombríos donde los horizontes se multiplican y la totalidad se hace patente.

Tienen un alto valor ecológico y ambiental por los servicios que le ofrece al hombre para su bienestar. Los páramos se caracterizan fundamentalmente por ser los proveedores de agua dulce para los pueblos y ciudades y para los embalses que producen energía. Funcionan como reservorios del líquido vital.

En términos ecológicos, los páramos se caracterizan básicamente por ser ecosistemas de gran altitud ya que llegan a ubicarse a más de 3000 metros, aunque las variaciones locales son notables por estar en el cinturón tropical del planeta. Presentan cuatro características esenciales: un frío intenso (especialmente a horas de la noche y madrugada), una alta irradiación ultravioleta (por la delgada capa atmosférica en estas altitudes), una cobertura caracterizada por una vegetación mayormente herbácea y una generalmente escasa presencia de vegetación arbórea.

La biodiversidad propia de estas condiciones a nivel de especies es notablemente, y con plantas y animales que presentan adaptaciones especiales. Desde hace miles de años, los páramos han sido habitados, esta población es dueña de ricas tradiciones culturales, pero muchas veces sus malas prácticas de aprovechamiento han impactado negativamente al ecosistema.

El sistema de abastecimiento de agua de las comunidades de San Isidro Patulú es alimentado por agua proveniente DE LOS PÁRAMOS DEL IGUALATA ubicada a 3 Km aproximadamente de las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia de San Isidro de Patulú.

### **1.4.1 IMPORTANCIA DE LOS PÁRAMOS**

En el Ecuador los páramos ocupan una extensión aproximada de 1'337.719 ha, que corresponde al 5% de la extensión territorial., 14 de las 44 áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas contienen este ecosistema, además de una serie de áreas como bosques protectores y reservas privadas.

La importancia que tienen los páramos en el país es incomparable, ya que cumplen funciones tales como:

- Albergar gran diversidad de flora y fauna que en ocasiones son únicas y forman parte de la riqueza biológica natural del país.
- Se encargan del almacenamiento y regulación del agua, esto se debe a la capa de materia orgánica presente, que tiene influencia sobre la estructura del suelo,
- La penetración de raíces, la concentración de nutrientes y el aumento de los espacios de almacenamiento del recurso hídrico.
- Es necesario conocer también que los páramos no son fábricas de agua, como comúnmente se cree, sino que retienen, regulan las aguas lluvia y el descongelamiento que reciben se caracteriza por no ser abundante sino constante a lo largo del año. La humedad que se recoge en su suelo baja lento y constantemente provee agua que abastece a las poblaciones de zonas aledañas, el líquido vital es usado frecuentemente tanto para consumo humano como para riego cubriendo las necesidades sanitarias y agropecuarias de la población.<sup>5</sup>

### **1.4.2 PÁRAMOS EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

La provincia de Chimborazo tiene una extensión de 648.124 hectáreas, y la transformación de áreas naturales en la provincia para agricultura, pastos, centros urbanos, infraestructura y otros usos abarca el 48% del territorio incluyendo áreas sobre los 3.400 metros de altitud que constituye el límite altitudinal del páramo.

En todos los páramos del mundo se ha reportado un total de 3.595 especies, de las cuales 1.524 se encuentra en el Ecuador.

---

<sup>5</sup> MENA, P., MEDINA, G. y HOFSTEDE, R., Los Páramos del Ecuador, Particularidades, Problemas y Perspectivas., Quito – Ecuador., GTP/AbyaYala., 2001. Pp. 210-212.



Las plantas de los páramos de Chimborazo, así como de otros páramos del Ecuador, se han desarrollado como adaptaciones a climas extremos, características que no se encuentran en otros ecosistemas del mundo. Los páramos de Chimborazo son fuente de agua en tres cuencas hidrográficas importantes para la generación de agua para el riego y la generación eléctrica a nivel nacional: La cuenca del Río Guayas (que ocupa el 36% de la provincia), la cuenca del Río Pastaza (con 54% de la provincia) y la cuenca del Río Santiago (en 9% de la provincia).

Hay dos factores que influyen en el clima de estos páramos: la ubicación en los trópicos y la presencia de la cordillera de los Andes. En la región tropical hay una convergencia intertropical de masas de aire en la línea ecuatorial que, al chocar con la cordillera, provocan una gran cantidad de lluvias, nubes y neblina que generan un clima húmedo y frío. El 60% de la población de la provincia de Chimborazo viven en las zonas rurales relacionadas a los páramos, cuya población indígena está entre las más pobres del país.<sup>6</sup>

## **1.5 AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de abastecimiento en nuestro país. Se forman a partir del agua que precipita al suelo por acción de la gravedad hasta alcanzar un estrato impermeable y constituir un acuífero, es decir un área bajo la superficie donde el agua es almacenada para su posterior aprovechamiento.

Generalmente, las comunidades más pequeñas son las que emplean abastecimientos subterráneos de agua, un inconveniente de estos es su tendencia a prover aguas excesivamente duras, se debe a que los constituyentes que causan la dureza son lavados de los depósitos minerales. Por otro lado, el abastecimiento subterráneo tiene la ventaja de proporcionar aguas que requieren un menor grado de tratamiento, porque las impurezas se eliminan en forma natural a medida que el agua atraviesa las capas del suelo y el subsuelo. Se debe tomar en cuenta que las características y composición de las aguas subterráneas pueden variar de acuerdo a las condiciones de la zona.

---

<sup>6</sup> BUSTAMANTE, M. y ARGUELLO, M., Los Páramos de Chimborazo. Un estudio socio ambiental para la toma de decisiones. Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo., Quito - Ecuador., Ecociencia., s.edt. Pp. 151.

### 1.5.1 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La composición de las aguas subterráneas es muy variable, y depende de distintos factores, principalmente relacionados con el tipo de formación geológica por el cual se mueven y por el tiempo de residencia en ésta hasta que es descargada.

En las aguas subterráneas naturales, las sustancias disueltas en ellas se encuentran principalmente como iones. Los iones presentes en las aguas se pueden clasificar en función de su abundancia relativa en varios tipos:

- **Constituyentes mayoritarios:** Son una serie de elementos comunes a todas las aguas que constituyen casi la totalidad de iones en solución. Estos iones fundamentales son: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, calcio, sodio, magnesio, anhídrido carbónico y sílice.
- **Constituyentes minoritarios:** Son elementos que, por lo general, constituyen menos del 1% del contenido iónico total. Se encuentran en menor concentración; en este grupo se engloban nitratos, fluoruros, hierro, potasio, boro y estroncio.
- **Elementos de traza:** Son compuestos que se presentan en el agua en cantidades muy pequeñas. Dentro de este grupo se encuentran iones metálicos como arsénico, antimonio, cromo, plomo, cobre, zinc, bario, vanadio, mercurio, uranio, etc., y aniones como fosfatos, yoduros, bromuros.<sup>7</sup>

### 1.6 AGUA ENTUBADA

El agua entubada es el agua transportada mediante tubos directamente del manantial, río u otra fuente, pero no está purificada por lo que sigue siendo agua contaminada. Algunas comunidades traen el agua directamente del manantial o río a través de tubos, y esto ahorra tiempo, pero pone en peligro la salud del ser humano.

El costo del agua entubada representa una pequeña fracción del agua embotellada, el mismo suministro puede tener innumerables usos y aplicaciones como por ejemplo;

---

<sup>7</sup> GRUPO FORMASELECT. Contaminación de suelos y aguas subterráneas, unidad conceptos básicos de edafología e hidrogeología. España. 2007. Pp. 49-50.

puede ser utilizado para beber, también utilizado para lavar, para máquinas lavadoras, múltiples usos a la hora de cultivar la tierra, alimentación de animales, entre otros. Por estas y muchas más razones la disponibilidad de agua entubada limpia trae muchos beneficios para la salud pública.

Normalmente, la misma administración que provee el agua entubada también es responsable de su desecho y tratamiento antes de la descarga de aguas residuales. En la mayoría de los países desarrollados el agua llega a los hogares mediante un sistema de tubería. Este servicio requiere de una infraestructura masiva de tubería, bombeo y purificación.

### **1.6.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA ENTUBADA**

Las tuberías que contienen agua durante largos trayectos pueden liberar moléculas tóxicas al agua como son:

- El cobre, genera compuestos tóxicos como cloruros y sulfatos, que provocan alteraciones digestivas e impregnaciones en los huesos.
- Las tuberías de hierro se corroen con facilidad, fomentando la formación de biocapas; el crecimiento de microbios hierro-dependientes, como *Legionella*,<sup>8</sup> supone un riesgo adicional a las aguas de abastecimiento.
- Las tuberías de cemento se permeabilizan en suelos salinos, permitiendo la contaminación externa antes de que se detecten las averías.
- Los distintos materiales plásticos, sobre todo el PVC, es el más utilizado por sus bajos costos y facilidad de manejo, no se oxidan y no afectan al sabor del agua; contienen altos niveles de plomo por lo que al estar en contacto con el calor y directamente con el sol pueden deteriorarse y liberar niveles altos peligrosos de polvo de plomo que puede causar enfermedades al ser humano.
- Los plásticos en general, empleados para el transporte del agua tienen una vida útil promedio de 50 años, siempre y cuando reciban tratamiento adecuado durante su uso.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> *Legionella*: Bacteria causante de la enfermedad del legionario, una forma de neumonía grave.

## **1.7 CARACTERÍSTICAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA**

La aplicación de un enfoque integral a la evaluación y la gestión de los riesgos de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo aumentan la confianza en la inocuidad del agua. Este enfoque conlleva la evaluación sistemática de los riesgos en la totalidad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo, desde el agua de origen y la cuenca de captación hasta cuando el agua llega al consumidor.

Es por ello de vital importancia el realizar una serie de análisis mediante la determinación de las medidas que pueden aplicarse para cuantificar estos riesgos, en caso que los mismos existiesen y se encontraran fuera de norma, así como de una serie de métodos para garantizar el funcionamiento eficaz de las medidas de control.

### **1.7.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Las características físicas que influyen en la calidad del agua son: turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad y sólidos presentes.

#### **1.7.1.1 Turbidez**

La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad de efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión.

Pueden ser causadas principalmente por la presencia de materiales en suspensión y en estado coloidal (arcillas, limo, tierra finamente dividida), que impiden la penetración de la luz, la turbidez puede ser ocasionada además por microorganismos o por sustancias minerales que incluyen compuestos de zinc, hierro o manganeso. Todas estas causas reducen la transparencia del agua unas en menor y otras en mayor grado.

---

<sup>9</sup> Agua Entubada, Características y Contaminantes.

[http://www.sii.se.gov.ec/siiseweb/PageWebs/VIVIENDA/ficviv\\_V67.htm](http://www.sii.se.gov.ec/siiseweb/PageWebs/VIVIENDA/ficviv_V67.htm)

En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso complejo de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los más influyentes en los costos de producción y en la potabilización de la misma porque, por lo general, requiere usar coagulantes, floculantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación, entre otros.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

#### **1.7.1.2 Color**

Se genera por la presencia de sustancias disueltas, especialmente de carácter orgánico, además puede resultar por acción de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus entre otros. Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual. Este último resulta más sencillo y consiste en la comparación de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas, como puede ser el agua destilada. El método utiliza patrones de platino cobalto y la unidad de color (UC) es la producida por 1 mg/L de platino en la forma de ion cloroplatino.

#### **1.7.1.3 Olor y Sabor**

Los olores y sabores en el agua con frecuencia suelen ocurrir juntos y en general son indistinguibles. Estas características del agua se pueden generar debido a la existencia de materia orgánica en descomposición, vegetación en putrefacción, residuos industriales, algas, desechos domésticos e industriales, etc.

Su determinación se efectúa, al igual que el olor, por dilución hasta determinar el umbral de percepción y sólo se realizará con muestras que sean sanitariamente aptas para consumo humano. Sin embargo se ha determinado según la norma INEN 1108:2011. Agua Potable. Requisitos. Que el agua en cuanto a olor y sabor debe ser inobjetable.

#### **1.7.1.4 Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

#### **1.7.1.5 Conductividad**

La conductancia o conductividad es una medida de la capacidad del agua para transmitir corriente eléctrica; es un parámetro relacionado con la cantidad de iones presentes en el líquido y con la temperatura a la cual se efectúa la determinación. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la energía eléctrica.

Como la solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, evidentemente la conductividad varía con la temperatura del agua, en general aumenta conforme aumenta la temperatura de la misma.<sup>10</sup>

#### **1.7.1.6 Sólidos Totales**

Los sólidos totales hacen referencia a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. Una de las características físicas más importantes del agua es el contenido total de sólidos, esta incluye la materia en suspensión, la materia sedimentable y la materia disuelta.

Los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que la muestra de agua pueda contener. Se puede decir que las aguas naturales sean estas subterráneas, entubadas o superficiales son un conjunto de agua con sólidos disueltos y suspendidos.

---

<sup>10</sup>Propiedades Físicas del agua.

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>

Se secan de 103 a 105 °C. La determinación de sólidos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua

$$\text{Sólidos Totales} = \text{sólidos suspendidos} + \text{sólidos disueltos}$$

#### **1.7.1.7 Sólidos Disueltos o Residuos Disueltos**

Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas; las aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

#### **1.7.1.8 Sólidos Suspendidos**

Los sólidos en suspensión son aquellos que se encuentran en el agua exceptuando los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Los mismos no se encuentran disueltos en el agua, pueden ser sedimentables o no.

Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

### **1.7.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

#### **1.7.2.1 pH**

Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua, mediante la concentración del Ión hidrógeno, Aunque no tiene efectos perjudiciales directos sobre la salud puede tener un papel importante en varias etapas del tratamiento del agua como por ejemplo en la coagulación, desinfección por cloro, ablandamiento y el control de corrosión.

#### **1.7.2.2 Dureza**

La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales que será tanto mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua.

#### **1.7.2.3 Alcalinidad**

La alcalinidad se representa por la presencia en el agua de iones, es la suma de las concentraciones de los iones carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) siendo estos últimos despreciables frente al resto. Estas especies producen en el agua un efecto tampón ya que absorben protones manteniendo el pH en un valor muy estable. Esta propiedad es muy importante para los seres vivos en determinados medios como el flujo sanguíneo ya que mantienen el valor de pH a un valor muy constante y estable frente a posibles variaciones en el medio.

Además pueden originar precipitación de sales de calcio en tuberías, aunque la alcalinidad natural presente en el agua cruda es suficiente para realizar una buena floculación; sin embargo si ésta es baja, debe recurrirse a la adición de un alcalinizante primario para incrementarla.

#### **1.7.2.4 Calcio**

Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Representa más un problema económico por las incrustaciones en cañerías, que un problema de salud.

#### **1.7.2.5 Magnesio**

Es uno de los minerales que junto con el calcio produce la dureza del agua. En cantidades importantes puede producir efectos laxantes.



#### **1.7.2.6 Sulfatos**

La presencia de sulfatos en el agua puede llegar a producir un mal sabor, mal olor y también a disminuir el pH, aumentando su poder corrosivo. Si además de que se manifieste la presencia de sulfatos en el agua se diera la presencia de calcio o magnesio, los sulfatos reaccionan con éstos formando incrustaciones duras en tuberías y artefactos que conducen el agua.

#### **1.7.2.7 Fosfatos**

Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en el agua, ya sea esta superficial, subterránea o de otro tipo. Dependiendo de la concentración de fosfatos existentes en el agua, puede producirse la eutrofización. Con 1 gramo de fosfatos presentes, el agua puede provocar el crecimiento de hasta 100 g. de algas.

Los compuestos de fosfatos que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de:

- Fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento
- Excreciones humanas y animales
- Detergentes y productos de limpieza

#### **1.7.2.8 Fluoruros**

El flúor es uno de los elementos más comunes de la corteza terrestre. Su presencia en el agua se debe principalmente a la infiltración y disolución de este elemento del suelo y rocas que lo contienen. Ésta situación se presenta con mayor frecuencia en las aguas subterráneas, donde la composición geológica del suelo y las condiciones son favorables para su disolución.

La ingestión de flúor a bajas concentraciones se considera benéfica por su capacidad de prevenir las caries dentales. Sin embargo, el consumo prolongado de agua con altos contenidos de flúor puede dar lugar a la fluorosis de dientes y huesos, y si la concentración es muy alta, puede originar serios daños a la salud, tales como fragilidad de los huesos, e incluso rigidez total y deformación ósea.

#### **1.7.2.9 Cloro Libre Residual**

La desinfección del agua con cloro, es el proceso más difundido de desinfección para aguas, mejora el color, especialmente de aguas con complejos coloreados y con hierro. Las ventajas que ofrece este tipo de desinfectante son la eliminación de bacterias patógenas para el hombre, en tiempos sumamente cortos, además es fácil de monitorear y es inocua para el ser humano a dosis adecuadas, otra ventaja sería el efecto residual que deja al agua para prevenir contaminaciones posteriores.

#### **1.7.2.10 Hierro**

Sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales. La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua.

El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías.

En niveles por encima de 0,3 mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0,3 mg/l, aunque pueden aparecer turbidez y coloración.<sup>11</sup>

#### **1.7.2.11 Amoníaco**

La concentración correspondiente al umbral olfativo del amoníaco a pH alcalino es de aproximadamente 1,5 mg/l, y se ha sugerido un umbral gustativo de 35 mg/l para el catión amonio. Estas concentraciones de amoníaco no tienen repercusión directa sobre la salud y no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

---

<sup>11</sup> Análisis químicos del agua. <http://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/determinacion-de-solidos.pdf>

#### **1.7.2.12 Nitratos y Nitritos**

Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno. Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas.

La concentración de nitratos, al igual que la de nitritos está relacionada con la posterior aparición de algas y para uso de consumo puede provocar una gran cantidad de enfermedades.

La presencia de nitratos en el agua se debe a la descomposición de la materia orgánica, a contaminación por aplicación de fertilizantes agrícolas, efluentes urbanos e industriales, lixiviados de vertederos de residuos sólidos, etc.

La presencia de nitritos en cambio se debe a la reducción de los nitratos por actividad bacteriana. No debe existir en el agua porque es nocivo para la salud, siendo su presencia síntoma indudable de contaminación.<sup>12</sup>

#### **1.7.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

Se puede definir a las características microbiológicas del agua como la determinación de los microorganismos presentes en una muestra problema de agua, mediante la realización de un conjunto de operaciones y análisis correctamente llevados a cabo.

El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

---

<sup>12</sup> ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. Pp.12-15.

### **1.7.3.1 Coliformes**

Por razones de simplicidad, para sistemas de abastecimiento en pequeñas comunidades, las guías y normas de calidad del agua potable se limitan al análisis microbiológico del grupo coliforme, ya que este grupo es mejor conocido y de medición relativamente fácil. Normalmente cuando se detectan bacterias coliformes en el agua se halla información adecuada para tomar las decisiones necesarias respecto a medidas correctivas.

Las coliformes son organismos patógenos indicadores de contaminación y productores de enfermedades. El grupo de bacterias coliformes incluye a las aeróbicas y a las anaeróbicas facultativas. La presencia de este grupo de coliformes en el agua sea o no potable es un indicador importante de contaminación. . En el análisis bacteriológico es importante detectar un grupo específico de bacterias llamado Coliformes Totales al cual pertenece la *Escherichia coli* y también las Coliformes fecales que pueden tener efectos contaminantes sumamente perjudiciales en el agua.

Los métodos bacteriológicos utilizados para detectar la presencia en el agua de estos microorganismos son; el recuento en placa para determinar el número de colonias, filtro- membrana, entre los más utilizados.

En la tabla 1.1 se expone los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos, de los parámetros físico – químicos y microbiológicos más utilizados para establecer la calidad del agua para consumo humano. Mientras que en la tabla 1.2 se muestran los valores máximos aceptables para el agua potable - OMS (1992), de esta tabla se han utilizado las concentraciones máximas aceptables de la conductividad y del magnesio ya que dichos límites no se encuentran en la tabla 1.1.

**Tabla 1. 1 Parámetros para el Agua de Consumo Humano**

#	PARÁMETRO	UNIDADES	<b>LÍMITES:</b> Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos.
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>			
1	pH	---	6,5 – 8,5
2	Color	Unid. (Pt-Co)	15
3	Turbiedad	NTU	5
4	Sólidos Totales	mg/l	1000
5	Sólidos Disueltos	mg/l	500
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>			
6	Dureza	mg/l	300
7	Calcio	mg/l	70
8	Alcalinidad	mg/l	250-300
9	Cloruros	mg/l	250
10	Sulfatos	mg/l	200
11	Amonios	mg/l	<0,50
12	Nitritos	mg/l	0,2
13	Nitratos	mg/l	50
14	Hierro	mg/l	0,30
15	Fosfatos	mg/l	<0,30
16	Fluoruros	mg/l	1,5
<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>			
17	Coliformes Totales	UFC / 100 ml	<1
18	Coliformes Fecales	UFC / 100 ml	<1

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Agua Potable. Requisitos.

**Tabla 1. 2 Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable – OMS (1992)**

<b>SUSTANCIA</b>	<b>CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE</b>	<b>CONCECNTRACIÓ N MÍNIMA TOLERABLE</b>
Sólidos Totales	500 mg/L	1500 mg/L
Color	5 unidades*	50 unidades
Turbiedad	5 unidades**	25 unidades
Conductividad	1250 $\mu\text{s}/\text{cm}$	1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Sabor	No rechazable	-
Olor	No rechazable	-
Hierro (Fe)	0,3 mg/L	1,0 mg/L
Manganeso (Mn)	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Cobre (Cu)	1,0 mg/L	1,5 mg/L
Zinc (Zn)	5,0 mg/L	15 mg/L
Calcio (Ca)	75 mg/L	200 mg/L
Magnesio (Mg)	50 mg/L	150 mg/L
Sulfatos ( $\text{SO}_4$ )	200 mg/L	400 mg/L
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	200 mg/L	600 mg/L
pH	7,0 – 8,0	6,5 – 9,2
Mg + Sulfato de Sodio	500 mg/L	1000 mg/L
Compuestos fenólicos como fenol	0,001 mg/L	0,002 mg/L
Contaminantes orgánicos	0,2 mg/L	0,5 mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0,2 mg/L	0,5 mg/L
* Escala Platino Cobalto ** Unidades de turbiedad		

**Fuente:** Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable – OMS (1992)

## **1.8 MUESTREO DE AGUAS**

Es la actividad por la cual se toman ciertas muestras de una población de elementos de los cuales vamos a tomar ciertos criterios de decisión, el muestreo de aguas es importante porque a través de él podemos hacer análisis de situaciones que influyen en algún campo de la sociedad donde tiene influencia el agua que ha sido sometida a muestreo.

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y los objetivos del estudio. El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizaran las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

### **1.8.1 MÉTODOS DE MUESTREO**

#### **1.8.1.1 Método de Muestreo Manual**

El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, y una participación total de quien va a realizar el muestreo, a pequeña escala es el más apropiado y recomendado de llevarse a cabo pero para programas de muestreo a gran escala puede ser excesivamente costoso y de manejo complejo.

#### **1.8.1.2 Método de Muestreo Automático**

Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos.

## **1.8.2 TIPOS DE MUESTRAS**

### **1.8.2.1 Muestra Simple o Puntual**

Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

### **1.8.2.2 Muestras Compuestas**

En la mayoría de los casos, las muestras compuestas se refieren a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos.

La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.



Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica.

Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, se debe tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

### **1.8.2.3 Muestras Integradas**

Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición.

La preparación de muestras integradas requiere generalmente de equipos diseñados para tomar muestras de una profundidad determinada sin que se contaminen con la columna de agua superior. Generalmente se requiere conocer el volumen, movimiento, y composición de varias partes del cuerpo de agua a ser estudiado.

La toma de muestras integradas es un proceso complicado y especializado que se debe describir adecuadamente en el plan de muestreo.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Pp. 2-3.

## 1.9 MEDICIÓN DE CAUDAL

### 1.9.1 METODO VOLUMÉTRICO

Se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra del tanque de captación y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. Se debe tener cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella. Con la finalidad de definir el tiempo promedio, se recomienda realizar como mínimo 5 mediciones.

$$Q = \frac{V}{t}$$

(Ecuación 1.1)

Donde:

Q: Caudal, (L/s)

V: Volumen, (L)

t: Tiempo, (s)

### 1.9.2 MÉTODO VELOCIDAD-ÁREA

El método consiste en medir la velocidad del agua que discurre del manantial tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme, habiéndose previamente definido la distancia entre ambos puntos.

La velocidad del agua en la superficie es la máxima e irá disminuyendo a medida que las capas de agua estén a más profundidad.

Al igual que en el método volumétrico, para determinar el tiempo promedio se recomienda realizar un mínimo de 5 pruebas o mediciones, para mayor precisión.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Métodos de Medición de Caudales.

## **1.10 PROCESOS Y OPERACIONES DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

El desarrollo de la sociedad reclama cada vez más agua, pero no solo a veces escasea sino que su calidad en los puntos donde se capta se va deteriorando día a día con el propio desarrollo de la sociedad, esto obliga a un tratamiento cada vez más amplio y complejo técnicamente. La eliminación de materias en suspensión y en disolución que deterioran las características físico- químicas y organolépticas así como la eliminación de bacterias y otros microorganismos que pueden alterar gravemente nuestra salud son los objetivos perseguidos y conseguidos por los sistemas de tratamiento a lo largo de todo un proceso.

La selección de los procesos y operaciones para la potabilización del agua es una tarea sumamente compleja; las circunstancias son diferentes para cada instalación que deba realizarse, la selección de uno o más procesos a utilizar en determinada situación se encuentra influenciada por la necesidad de cumplir los objetivos de calidad reglamentados, además de que debe contar con el aspecto o estética más apropiado para que no incomode al consumidor y lo más importante tratar de proporcionar el servicio del agua al más bajo costo posible.

### **1.10.1 CAPTACIÓN**

La captación es un conjunto de estructuras y dispositivos contruidos o colocados junto a un medio hídrico, para aumentar un servicio de abastecimiento de agua destinada al consumo humano. La captación del agua puede ser de dos fuentes: fuentes superficiales (ríos, lagos, diques) o fuentes subterráneas (aguas de perforación).

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o también en las tuberías o conductos. El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año.

La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo o perforaciones.

### **1.10.2 CONDUCCIÓN**

La conducción del agua se refiere a los sistemas de estructuras y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, hacia los tanques de almacenamiento, planta de tratamiento y distribución. La conducción de agua puede darse de las siguientes maneras:

#### **1.10.2.1 CONDUCCIÓN POR GRAVEDAD (ACUEDUCTOS, CANALES)**

El agua circula por la propia pendiente de la conducción desde el punto de toma, que tendrá más altura, hasta el punto de entrada.

#### **1.10.2.2 CONDUCCIÓN FORZADA (TUBERÍAS)**

Se utilizan cuando el punto de toma está situado a una altura más baja que la entrada en la planta para salvar la diferencia de alturas, se emplean grupos de bombeo. Para soportar la presión de trabajo se dimensionan con materiales resistentes bien de chapas de acero o de hormigón reforzado con camisas de chapa.<sup>15</sup>

### **1.10.3 MEZCLA RÁPIDA**

La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua. La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida. En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina. Los de hélice, semejantes a hélices de barco, generan corrientes axiales fuertes que crean gran intensidad de mezcla y se han usado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2000 revoluciones por minuto.

---

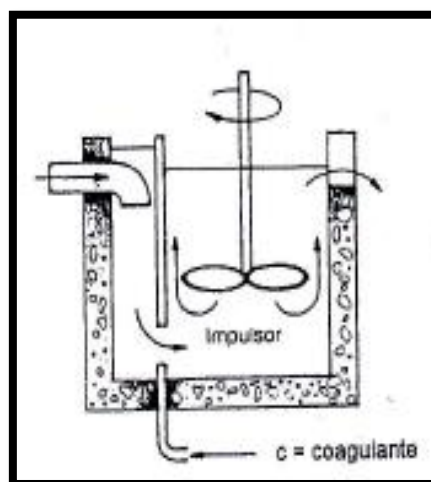
<sup>15</sup> Conducción de Aguas. <http://democritus.me/2009/06/24/la-potabilizacion-del-agua/>

Los impulsores de paletas generan principalmente corrientes radiales y tangenciales, y son más usados en floculación con velocidades rotacionales bajas, 2 -150 RPM, debido a la mayor área expuesta al agua. El término turbina se aplica, indistintamente, a una gran variedad de formas de impulsores; generalmente consisten en varias aletas rectas montadas verticalmente sobre una placa plana, aunque también se usan las de aletas curvas. La rotación se hace a velocidades moderadas y las corrientes generadas son principalmente de dirección radial y tangencial. Los impulsores de flujo radial descargan el líquido desde el impulsor, a lo largo de un radio, en ángulo recto con su eje; en los de flujo axial el líquido entra al impulsor y es descargado desde él, en forma paralela a su eje.

#### 1.10.3.1 MEZCLADORES MECÁNICOS

Los tanques de mezcla rápida mecánica se proyectan generalmente de sección circular o cuadrada. Los mezcladores mecánicos son fabricados por una gran cantidad de industrias; en general consisten en hélices, paletas, turbinas acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera. Los ejes giran a un número alto de revoluciones lo cual agita el agua en forma violenta y propicia la mezcla rápida y uniforme del coagulante. Las turbinas de flujo axial mueven el líquido paralelamente al eje del impulsor, las de flujo radial lo mueven perpendicularmente al eje de rotación.

**Figura 1. 1 Mezcladores Mecánicos**



**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

### 1.10.3.2 MEZCLADORES HIDRÁULICOS

Los mezcladores rápidos hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se utilizan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, tubos venturi, dispersores de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.

El mezclador hidráulico tiene la ventaja de no requerir equipo mecánico, consideración muy importante en el diseño de plantas para lugares en los que no se dispone de personal capacitado para mantenimiento ni de suministro apropiado de repuestos.<sup>16</sup>

#### 1.10.3.2.1 Vertederos

Son estructuras hidráulicas destinadas a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales; siendo el aliviadero en exclusiva para el desagüe y no para la medición. Existen diversos tipos según la forma y uso que se haga de ellos, a veces de forma controlada y otras veces como medida de seguridad.

Entre los tipos de vertederos que se pueden emplear para la mezcla rápida están:

- a) **Vertedero Rectangular:** Los vertederos rectangulares tienen su escotadura en forma rectangular que puede variar de tamaño. Pueden dividirse en dos grupos: los sin contracción y los con contracción.

Cuando el canal rectangular tiene el mismo ancho del vertedero no hay contracción del área de flujo; y cuando el canal es más ancho que el vertedero, hay una reducción en el área de flujo, y es un vertedero con contracción.

Este tipo de vertedero tiene la ventaja de que es el más exacto para la medición de caudales.

- b) **Vertedero Triangular:** Tiene la escotadura en forma de V, cuyo vértice es un ángulo recto. Este tipo de vertedero tiene la ventaja que puede medir con exactitud grandes fluctuaciones de caudal.

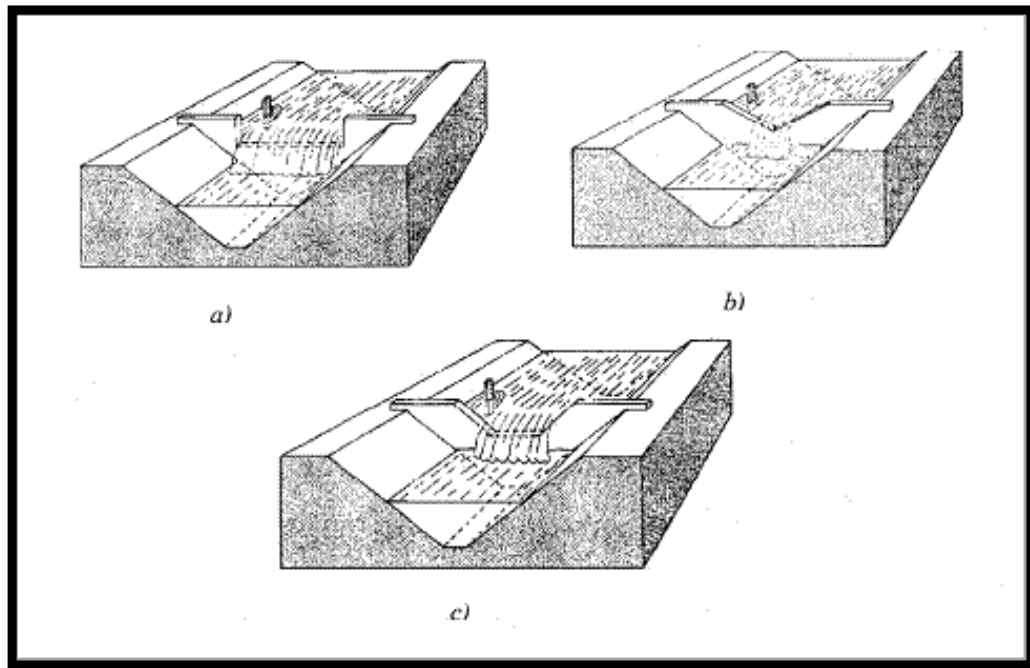
---

<sup>16</sup> Mezcla rápida y mezcladores.

[http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_cap5.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap5.pdf)

- c) **Vertedero Trapezoidal o Cipoletti:** El ingeniero Cipoletti propuso este tipo de vertedero para eliminar la corrección y longitud efectiva de la cresta. Este vertedero tiene los bordes con una inclinación de 4V:1H.

**Figura 1. 2 Tipos de Vertederos**



**Fuente:** [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/\\_13.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/_13.htm)

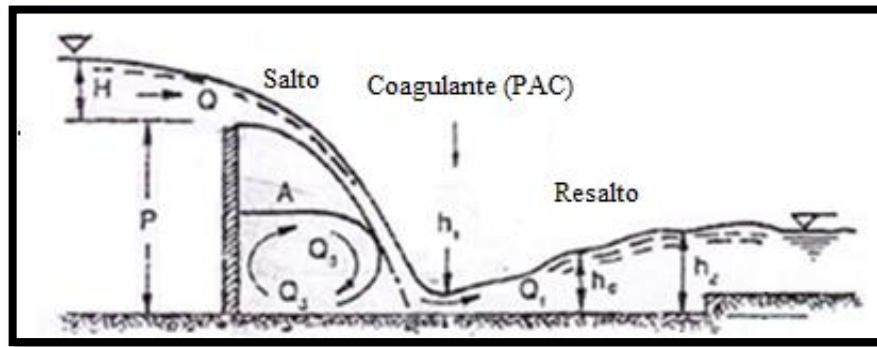
#### **1.10.4 COAGULACIÓN QUÍMICA**

La coagulación es el proceso que tiene por objeto clarificar el agua, es decir eliminar la turbiedad, por medio del agregado de un producto químico para reducir o anular las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión o coloides, por lo que las mismas se aglutinan en pequeños flocs, de mayor peso de tal manera que sedimenten más fácilmente.

Dicho en otras palabras la coagulación consiste en la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los agentes coagulantes.

Esta operación debe efectuarse en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua, en un tiempo mínimo.

**Figura 1. 3 Coagulación Química**



**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

La coagulación se usa para:

- La remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- La remoción de color verdadero y aparente.
- La eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- La destrucción de algas y plancton que se encuentran presentes en general.
- La eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

#### **1.10.4.1 COAGULANTES**

Son agentes químicos agregados al agua para facilitar el asentamiento de sustancias coloidales que se encuentran en suspensión. Las partículas que se unen aumentan de peso y decantan. Las partículas coloidales producen turbidez y color en el agua, estas tienen gran poder de adsorción, adsorbiendo iones del medio y cargándose negativamente. La adición del coagulante neutraliza las cargas produciendo un colapso de la nube de iones que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.



#### 1.10.4.2 TIPOS DE COAGULANTES

Un buen rendimiento operacional depende de la selección de un determinado tipo de compuesto químico, entre los diferentes tipos de coagulantes usados se tiene:

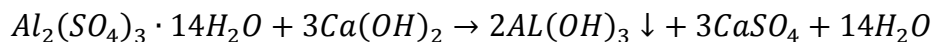
##### 1.10.4.2.1 Sulfato de Aluminio o Alumbre

Se obtiene de la reacción mineral de bauxita o arcillas ricas en óxidos de aluminio  $Al_2O_3$  con ácido sulfúrico. Se conoce como alúmina o alumbre. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos. Fue el coagulante más utilizado aunque actualmente se ha eliminado debido a los problemas de operabilidad y taponamientos de tuberías por la sedimentación de aluminio en el interior.

El alumbre funciona mejor en el intervalo de pH de 5,5 – 7,0, puesto que esta sal produce protones en el proceso de hidrólisis, si el agua no tiene una alcalinidad adecuada será necesario añadir un producto alcalino para mantener el pH.



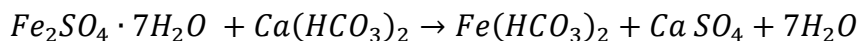
**Rx.1.1**



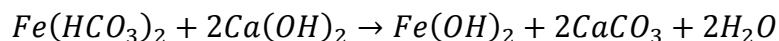
**Rx.1.2**

##### 1.10.4.2.2 Sulfato Ferroso

Se usa generalmente junto con la cal (CaO) o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción del  $FeSO_4$  con la cal hidratada se ve favorecida a pH altos. Se suministran en forma sólida y para que sea realmente eficaz, el sulfato ferroso debe oxidarse a su forma férrica.



**Rx. 1.3**



**Rx. 1.4**

#### 1.10.4.2.3 Sulfato Férrico

Disponible comercialmente en forma granular, muy soluble en agua. Puede reaccionar con la alcalinidad del agua o con materiales alcalinos añadidos como la cal.

#### 1.10.4.2.4 Cloruro Férrico

Está disponible en fase sólida y líquida. Se genera por la oxidación del sulfato ferroso con cloro. Tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes pH (entre 4, 8 y 11). Reacciona con la alcalinidad del agua y con los compuestos alcalinos añadidos. Su desventaja es que se usa principalmente en aguas residuales y casi nunca en aguas potables debido a que produce color.<sup>17</sup>

#### 1.10.4.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

Las siguientes variables se deben analizar para optimizar la coagulación, ya que su interrelación permite predecir la cantidad adecuada de coagulante a adicionar al agua:

- a) **Tamaños de las Partículas;** las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- b) **Temperatura:** cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor. Mientras que a temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.
- c) **Relación cantidad-tiempo:** la cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.
- d) **pH:** para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante. El pH óptimo varía según la naturaleza del agua, cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios de pH.

---

<sup>17</sup> ARBOLEDA., J., Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., Pp 51-52.

- e) **Turbiedad:** Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante con la que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.

La cantidad de coagulante es indistinto de una elevada o baja turbiedad ya que cuando la turbiedad aumenta no es necesario gran cantidad de coagulante debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta. Cuando la turbiedad es muy alta es conveniente realizar una presedimentación.<sup>18</sup>

### 1.10.5 FLOCULACIÓN QUÍMICA

Es el proceso que consiste en la agitación de la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso para sedimentar con facilidad. Desestabilización en el que el agua cambia de velocidad y se agita con paletas o canales en forma de serpentín que permite que los flóculos pequeños se mezclen y formen flóculos más grandes y pesados. En el proceso de floculación es importante conseguir la formación del flóculo de mayor peso y cohesión posible ya que estas características facilitan su de mayor peso y cohesión posible, ya que estas características facilitan su eliminación. Los factores que favorecen el engrosamiento y, consecuentemente, la sedimentabilidad del flóculo son:

- 1) Una coagulación previa tan perfecta como sea posible
- 2) Un aumento de la cantidad de flóculos en el agua. Así, conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior (recirculación de fangos, lecho de fangos, etc.), tratando de conseguir la mayor concentración posible.
- 3) Una agitación lenta y homogénea del conjunto con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con un flóculo.
- 4) El empleo de ciertos productos llamados floculantes.

---

<sup>18</sup> ROMERO, J. A. Calidad del Agua. 3ª Ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009. Pp. 107-110, 112, 114.

### **1.10.5.1 FLOCULANTES**

Los floculantes o coadyuvantes de coagulación son productos que favorecen el proceso de formación del flóculo, actuando de puente o unión para captar mecánicamente las partículas en suspensión.

#### **1.10.5.1.1 Polielectrolitos**

Los polielectrolitos reemplazan total o parcialmente al sulfato de aluminio, no alteran el pH del agua, el flóculo producido con polielectrolitos tiene mayor capacidad de penetración en los medios filtrantes, alargando la carrera de los filtros, y el flóculo resultante es menos frágil que el obtenido con sales orgánicas, por lo que soporta agitaciones más fuertes.

#### **1.10.5.1.2 Policloruro de Aluminio (PAC)**

El policloruro de aluminio es un producto formado por una combinación de polímeros inorgánicos de hidróxido de cloruro de aluminio. Es usado como floculante para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo del sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el floculante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad.

Las ventajas que presenta el policloruro de aluminio ante otros floculantes son las siguientes:

- Genera un menor residuo de aluminio.
- Mejora la velocidad de formación de flocs.
- Mayor eficiencia en la remoción de color y turbidez.
- Genera mayor velocidad de sedimentación.
- Requiere menores tiempos de mezclado para coagular.

- Mejora la eficiencia de la filtración.
- Contribuye en la eliminación de metales como el hierro y el manganeso.
- Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros.
- Reducción de lodos de un 25-75%.
- Operación simplificada al eliminar reguladores de pH y ayudas de coagulación.
- Trabaja en un amplio rango de pH.
- No modifica el valor de pH del influente.
- Menor costo de operación.<sup>19</sup>

### **1.10.5.2 TIPOS DE FLOCULADORES**

#### **1.10.5.2.1 Floculadores Mecánicos**

En estos floculadores, se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador mecánico más utilizado es el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna.

#### **1.10.5.2.2 Floculadores Hidráulicos**

Los floculadores hidráulicos con una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de baffles que son las paredes o muros que se instalan en un tanque de floculación, coagulación o sedimentación para dirigir el sentido del flujo, de esta manera se aseguran suficientes curvas, proveen una floculación efectiva.

Entre los principales floculadores hidráulicos se tiene el:

##### **▪ Floculador de flujo Horizontal**

En este tipo de unidades predomina el flujo de pistón, por lo que se consigue un buen ajuste del tiempo de retención. Son recomendables para caudales menores de 50 litros por segundo.

---

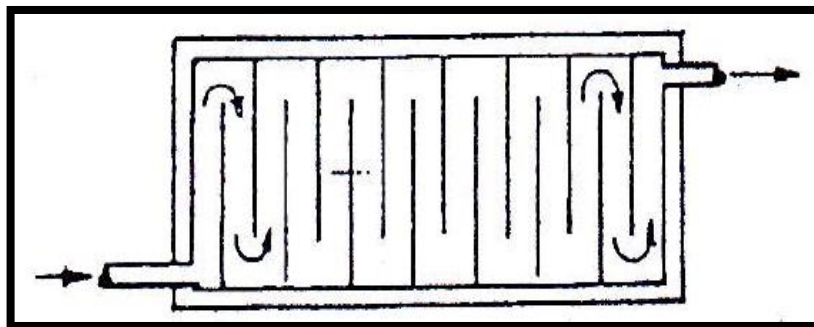
<sup>19</sup> Policloruro de Aluminio. <http://www.policlorurodealuminio.com/policloruro-de-aluminio.html>

En este tipo de floculadores, el agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno. Para utilizar un floculador de flujo horizontal, el tanque debe estar dividido por pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas. Debe dejarse suficiente espacio para la limpieza de los canales; si éstos son muy estrechos las pantallas deben ser removibles.

Las ventajas que tiene un floculador de flujo horizontal son las siguientes:

- No tienen cortos circuitos, esto quiere decir que el flujo queda retenido durante un tiempo casi igual al periodo de detención nominal.
- No tiene partes movibles, de forma que su operación y mantenimiento son más simples que los floculadores mecánicos
- Si bien la pérdida de carga necesaria para producir un determinado gradiente de velocidad es mayor, no requiere consumo externo de energía, lo que es una considerable ventaja cuando el flujo llega por gravedad a donde se encuentra ubicada la planta.<sup>20</sup>

**Figura 1. 4 Floculador Hidráulico de Flujo horizontal**



**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Floculación

<sup>20</sup> Floculación, Tipos de floculadores.

[http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_cap6.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap6.pdf)

### **1.10.5.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN**

La floculación está condicionada por una serie de factores que determinan su eficacia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido, dichos factores son:

#### **a) Dosis óptima de floculante:**

Para una cierta concentración de sólidos, todo floculante añadido es adsorbido sobre los mismos. El punto a partir del cual el floculante no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis óptima, que será la cantidad máxima de floculante que puede ser adsorbido para producir un sistema floculado, a condición de que ningún enlace de superficie sea roto después de la formación de los flóculos. A medida que se desarrolla la floculación, la formación de flóculos disminuye la superficie disponible, y el número de colisiones entre las partículas se hace inferior, de modo que una cierta cantidad de finos se escapa al fenómeno de floculación para dar lugar a una ligera niebla en suspensión en el líquido sobrenadante.

#### **b) Agitación:**

Una adecuada agitación es necesaria tanto en el momento de dosificación del floculante como en el proceso de formación y engorde del flóculo.

La dispersión del floculante en el agua exige una rápida agitación para favorecer una floculación homogénea en todos los puntos y crear un tamaño de flóculo igualmente homogéneo. La agitación rápida favorece además, un mayor número de colisiones entre las partículas y las cadenas de polímeros asegurando la floculación total de los coágulos.

Una vez iniciada la floculación, conviene reducir la velocidad de agitación para evitar la rotura mecánica de los flóculos.

#### **c) Concentración de Sólidos:**

La estabilidad de los flóculos crece con la densidad de los sólidos, debido al aumento de la probabilidad de unión de los fragmentos de los flóculos rotos.

**d) Superficie de los Sólidos:**

La dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido; es decir, al aumentar de tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante.

**e) Efecto de la Temperatura:**

Existe la creencia general de que un aumento de temperatura mejora la floculación. Esto no siempre es así, ya que si bien la velocidad de difusión del floculante y de colisión de partículas es mayor, la adsorción es menor por ser exotérmica.

**f) Efecto del pH:**

El pH puede afectar a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos así como la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución. A su vez la variación en la ionización del floculante determina el grado de creación de puntos de enlace entre partículas y moléculas lo cual puede anular la eficacia de un floculante en un rango de pH determinado.<sup>21</sup>

### **1.10.6 DIFERENCIA ENTRE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN**

Hay que distinguir entre coagulación y floculación; la coagulación es el proceso químico por el cual se añade un coagulante (sustancia química) al agua con el fin de destruir la estabilidad de los coloides y promover su agregación, y floculación como el proceso físico de mezcla rápida y lenta por medio del cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y, por tanto, la formación de floc.

Mientras que la diferencia básica entre coagulante y floculante reside en que el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microflóculos, en cambio el floculante engloba estos microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten más fácil y rápidamente.<sup>24</sup>

---

<sup>21</sup>Coagulación y Floculación.

[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)



### **1.10.7 SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación es el proceso por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, es decir, las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas. Se puede conseguir tal fin mediante la sedimentación, que no es más que el proceso en el cual se asientan los sólidos suspendidos en un fluido, bajo la acción de la gravedad.

Cuando una partícula cualquiera, con densidad diferente a la del fluido en la cual se coloca, se le permite mover sin interferencias, ella se desplazará verticalmente ascendiendo o descendiendo según su peso específico sea menor o mayor al del fluido en el cual se desplace. La velocidad de desplazamiento de la partícula respecto al fluido se vuelve constante. La resistencia que opone el medio al fluido es igual al peso de la partícula en ese fluido. Este proceso permite una gran eliminación de la turbiedad presente en las aguas, sobre todo cuando se trata de aguas provenientes de fuentes superficiales, cargadas de lodo y otras impurezas precipitables.

Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

- La sedimentación puede ser simple cuando no se pretende alterar las características de las partículas por asentar. Además es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como pre sedimentación.
- La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

#### **1.10.7.1 SEDIMENTADOR LAMINAR**

El Sedimentador Laminar es uno de los tipos de sedimentadores más económicos, eficientes y compactos para realizar la sedimentación de partículas en líquidos, la inclinación de las placas hace que el sedimentador tengan una mayor área de sedimentación en un espacio de hasta 90% menos que los sedimentadores convencionales, además de no contener partes móviles que requieran energía para su funcionamiento.

Soportan de mejor manera el aumento de la carga superficial, al verse disminuida su eficiencia muy poco comparada con los sedimentadores convencionales.

##### **1.10.7.1.1 PARTES DEL SEDIMENTADOR LAMINAR**

Para un adecuado funcionamiento de estas unidades se deben considerar no solo el módulo de placas inclinadas que hace la función de sedimentación, sino la entrada, salida, y extracción de lodos.

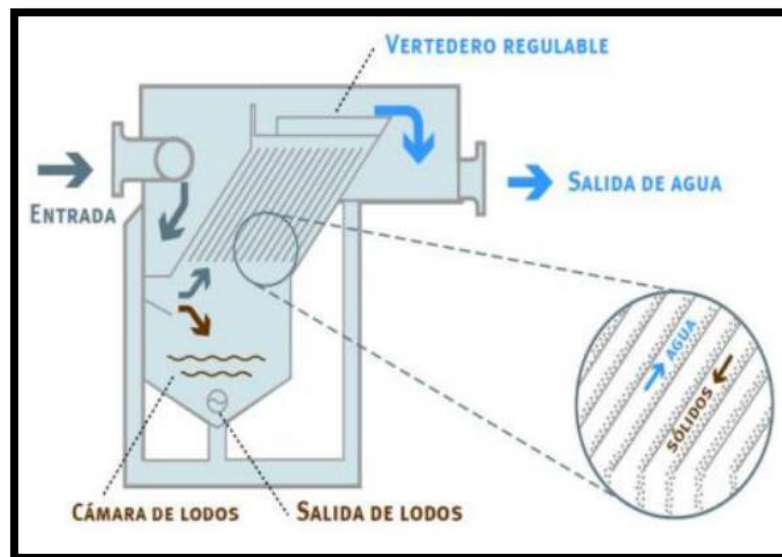
- **Zona de entrada:** Deberá permitir una distribución uniforme del caudal de agua floculada dentro del sedimentador para que todas las placas trabajen por igual, sin dejar de lado que el flujo debe ser laminar.
- **Zona de sedimentación:** Esta zona se diseña en base a la velocidad crítica de sedimentación o carga superficial, la misma que de ser posible debe ser obtenida mediante pruebas de laboratorio, como son las pruebas de jarras.

La velocidad de sedimentación depende de una correcta coagulación y floculación, además de la calidad de la fuente de agua a tratar. En teoría todas las partículas con velocidad mayor o igual a la crítica serán automáticamente removidas.

- **Zona de Salida:** Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones, que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- **Zona de Lodos:** Esta zona está compuesta por tolvas de almacenamiento, la pendiente de las tolvas debe estar entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$  y la sección debe ser aproximadamente cuadrada. Ubicada en la parte inferior del sedimentador, consta con tuberías y válvulas para la recolección de los lodos.

La recolección de lodos deber realizarse procurando no generar corrientes o turbulencia que pueda volver a suspender las partículas sedimentadas.<sup>22</sup>

**Figura 1. 5 Sedimentador Laminar**



**Fuente:** <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17090/1/SedimentadorLaminar.pdf>

<sup>22</sup>Sedimentación. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17090/1/Sedimentador%20Laminar%20en%20el%20Tratamiento%20de%20Agua%20para%20Consumo%20Humano.pdf>

### 1.10.8 FILTRACIÓN

La filtración es el proceso mediante el cual el agua es separada de la materia en suspensión haciéndola pasar a través de una sustancia porosa o medio filtrante. Todo lo que no precipitó en el sedimentador es retenido en el filtro. Existen dos clases de filtros: los de acción lenta y los de acción rápida.

#### 1.10.8.1 CLASES DE FILTROS

- **FILTROS DE ACCIÓN LENTA**

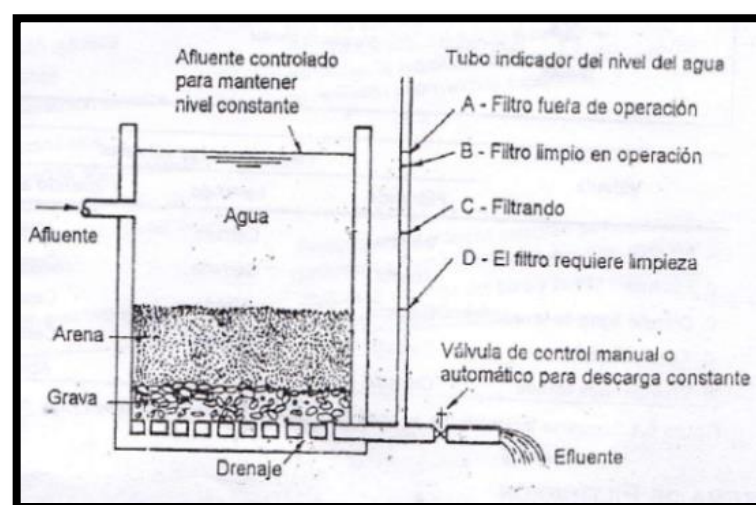
Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren sustancias químicas y permiten reducir virus, bacterias, protozoarios dañinos para la salud pública.

Dichas unidades reducen materia fina orgánica e inorgánica, la cual es retenida en el lecho de arena. Compuestos orgánicos disueltos son más o menos degradados, dependiendo de su naturaleza.

Se utilizan para aguas poco turbias, siempre sin acondicionamiento químico previo.

Requieren una granulometría fina de la arena, las retenciones se van a producir principalmente en la superficie del lecho. Son generalmente filtros de gravedad que requieren mucha superficie de filtración.

**Figura 1. 6 Filtro lento de Arena**

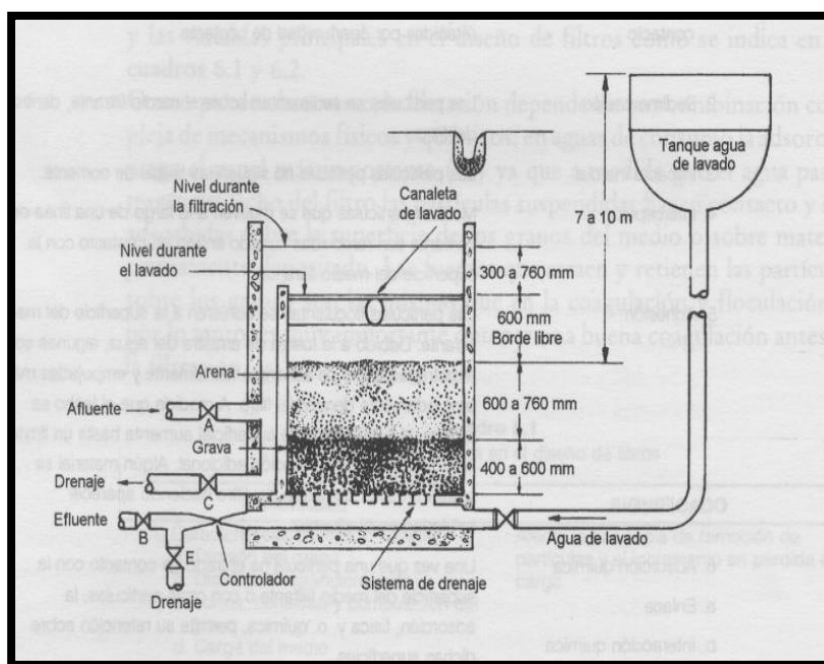


**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

- **FILTROS DE ACCIÓN RÁPIDA**

Los filtros de acción rápida son los filtros usados normalmente en aguas potables, con o sin acondicionamiento químico previo. Generalmente son filtros de presión y suelen ser más pequeños pues no requieren altas superficies de filtración.

**Figura 1. 7 Filtro rápido de Arena**



**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

#### 1.10.8.2 MEDIO FILTRANTE

Todos los filtros requieren un medio filtrante para la retención de sólidos, ya sea que el filtro esté adaptado para la filtración de torta, como medio de filtración o filtración en profundidad. La especificación de un medio de filtración está basada en la retención de un tamaño mínimo de partícula y una buena eficiencia en la eliminación por separación, así como también una aceptable duración.

La elección del medio de filtración es, con frecuencia, la consideración más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro. Entre los más utilizados se tiene:

- **Arena:**

Es el medio filtrante más utilizado, por ser el más económico. Más del 90% del agua que se potabiliza en el mundo se logra pasando el agua por filtros de arena. Teóricamente la capa superior es la que realiza la filtración, mientras que la capa inferior provee soporte necesario en la duración del proceso. La arena para filtros debe tener una solubilidad en ácido clorhídrico 1:1 menor del 5%, una densidad relativa mayor de 2,5 y debe ser limpia y bien gradada.

- **Grava:**

El lecho de grava ideal es en el cual ésta es casi esférica en forma y existe incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. La grava debe ser dura, redondeada, con una densidad relativa promedio no menor de 2,5.

- **Carbón Activado:**

Es un sólido poroso, en polvo o forma granular, producto de cualquier materia prima que tenga un alto contenido de material carbonoso como puede ser: la madera, tierra turbia, lignito. Este absorbe compuestos orgánicos que producen olor, sabor, color o toxicidad. Su costo elevado en comparación a los demás es su principal desventaja.

- **Antracita:**

En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio granular filtrante. No es muy utilizado ya que este tipo de carbones no son encontrados en su forma terminada y tienen pocas cenizas.

#### **1.10.8.3 SELECCIÓN DE LA ARENA Y GRAVA EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN**

Después del proceso de floculación se considera muy apropiado pasar el agua por un sedimentador para de esta manera sedimentar las partículas floculentas. Luego de la sedimentación debe seleccionarse un filtro apropiado para que la filtración sea lo más efectiva posible y de esta manera eliminar por completo las partículas floculantes ya que no todas precipitan en el sedimentador.

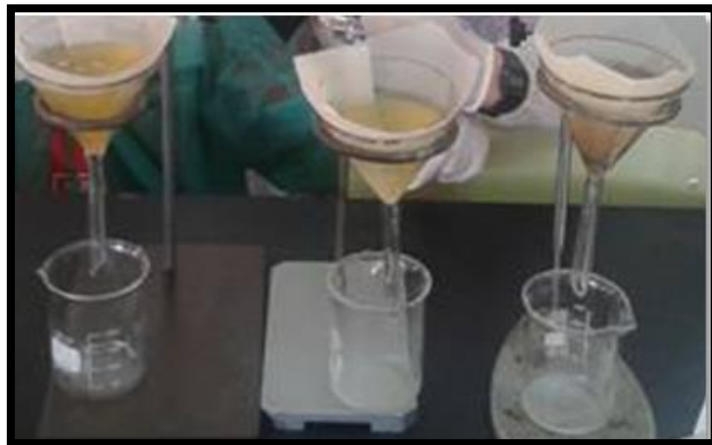
Las ventajas que proporcionan los filtros de arena son las siguientes:

- Costo de operación bajo.
- Remueven hasta el 90% de los microorganismos presentes.
- Manejo sumamente simple.
- Ideal para caudales con velocidades bajas.<sup>23</sup>

La función que tienen la arena y la grava es la de retener toda clase de impurezas y partículas finas que no han logrado ser sedimentadas, las mismas son las causantes del exceso de turbiedad y de color que se presenta en el agua.

Al mismo tiempo que ayuda a disminuir la turbiedad el color y el hierro, este proceso contribuye a purificar el agua impidiendo el paso de microorganismos que se manifiestan en el agua como coliformes totales y fecales; este proceso los adhiere a los poros de su estructura para posteriormente ser eliminados más fácilmente en forma de lodos.

**Figura 1. 8 Filtración con arena fina y grava**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

---

<sup>23</sup> Filtración, Medios Filtrantes.

[https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/curso/dia\\_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf](https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/curso/dia_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf)

### **1.10.9 DESINFECCIÓN**

La etapa final del proceso de tratamiento para la obtención de agua potable siempre es la desinfección. Desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales se destruyen microorganismos patógenos.

#### **1.10.9.1 TIPOS DE DESINFECCIÓN**

##### **1.10.9.1.1 Radiación**

Se obtiene una buena desinfección del agua a condición de que se aplique sobre una capa de agua de poco espesor, con una potencia suficiente y renovando las lámparas antes de que pierdan la fuerza de su poder emisor. La efectividad del tratamiento depende de una instalación ampliamente dimensionada, bien controlada y por supuesto excelentemente mantenida.

##### **1.10.9.1.2 Desinfectantes Químicos**

Los desinfectantes químicos más utilizados en los tratamientos de aguas son:

- **Cloraminas:** Generalmente, reducen o eliminan los sabores que podrían encontrarse en un tratamiento sólo con cloro. Pueden ser eficaces, aunque no siempre, cuando se quiere evitar la presencia de clorofenoles.
- **Dióxido de Cloro:** Es un gas inestable, que se obtiene a partir de la mezcla de cloro con clorito sódico. Elimina la formación de clorofenol mas no tiene efecto sobre otros compuestos contaminantes.
- **Ozono:** El Ozono constituye la tercera alternativa tras el cloro y el dióxido de cloro. . Se trata de un gas compuesto por tres átomos de oxígeno, que no se encuentra habitualmente en la atmósfera a bajas alturas, donde su presencia se considera contaminante, puesto que su poder oxidante puede afectar a la salud pública o a la vegetación. Tiene un gran poder desinfectante y mejora las características organolépticas del agua como color, olor y sabor.

La aplicación de ozono requiere de una aplicación in situ debido a su gran desventaja es decir su inestabilidad.



- **Cloro:** Se puede agregar en forma gaseosa o en forma de hipoclorito sódico y cálcico. Es el desinfectante más usado en la purificación de las aguas, ya que es eficiente, de bajo costo y fácil de aplicar y deja un efecto residual que es sencillo de medir. Tiene la desventaja de que es corrosivo y que en algunos casos deja un sabor desagradable en el agua. La acción del cloro está muy influenciada por el pH; cuanto más elevado es éste, mayor es la dosis de cloro residual que debe mantenerse para obtener la misma eficacia con un mismo tiempo de contacto. Debe tenerse en cuenta este factor cuando se efectúa una neutralización para elevar el pH del agua filtrada.<sup>24</sup>

#### **1.10.9.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE CLORO COMO DESINFECTANTE**

##### **Ventajas**

- Existe disponible como gas, líquido o en forma granular.
- Es relativamente barato.
- Es fácil de aplicar, por cuanto es relativamente de solubilidad alta cerca de 7,00 mg/L a 20°C.
- En concentraciones insaboras e inocuas para consumo humano deja un residual en solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.
- Tiene una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- Es un agente oxidante poderoso.

##### **Desventajas**

- Es un gas venenoso que requiere de un manejo adecuado y cuidadoso.
- Es altamente corrosivo en solución.

---

<sup>24</sup> GRUPO FORMASELECT. Contaminación de aguas y procesos de depuración, unidad potabilización del agua. España. 2007. Pp. 32, 39-40.

## **1.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN**

El diseño del sistema de tratamiento de agua potable se refiere al análisis, estudio en un campo o área que requiere de un mejoramiento en cuanto a calidad, para ello se deben emplear recursos, técnicas, procesos, operaciones que permitan conocer la situación actual del lugar y en base a ello permita realizar un incremento en el servicio que se busca mejorar.

El objetivo básico del diseño de una planta de potabilización de agua es integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento para que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable.

Por tanto, la planta de potabilización debe tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento.

### **1.11.1 CAUDAL DE DISEÑO**

Para encontrar el caudal de diseño empleado en los cálculos de las diversas etapas que tendrá el sistema de tratamiento se debe seguir la siguiente secuencia de cálculos:

#### **1.11.1.1 POBLACIÓN ACTUAL**

De acuerdo a datos proporcionados por la Junta Parroquial de San Isidro Patulú, la comunidad cuenta con una población total de 4786 habitantes. Y con un índice de crecimiento intercensal de 1.419%.

**Tabla 1. 3 Población por comunidad de la Parroquia San Isidro de Patulú**

<b>NOMBRE DE LA COMUNIDAD/BARRIO</b>	<b># DE HABITANTES</b>	<b>PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN TOTAL</b>
Pulug	161	3,43%
Cochapamba	180	3,76%
Chocaví Chico	236	4,93%
Chocavi Central	261	5,19%
Pichan Grande	238	5,45%
Pichan Central	271	5,66%
Igualata	223	4,66%
San Antonio de Tumbo	221	4,62%
San Francisco	205	4,32%
Santa Rosa	236	4,28%
Asaco	156	3,26%
Tutupala	221	4,62%
La Josefina	208	4,35%
Tembo	218	4,55%
Liguinde	223	4,66%
Pichan san Carlos	254	5,31%
Barrio la delicia	295	6,16%
Barrio san Rafael	327	6,83%
Barrio 15 de mayo	298	6,22%
Barrio Central	354	7,40%
<b>TOTALES</b>	<b>4786</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Junta Parroquial de San Isidro Patulú. De los habitantes del GAD's. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia San Isidro de Patulú-Mayo 2014).

Para las 3 comunidades donde se desarrollará el sistema de tratamiento se tiene la siguiente población:

**Tabla 1. 4 Población en el año 2014 de las comunidades donde se realizará el diseño**

<b>COMUNIDAD</b>	<b># DE HABITANTES AÑO 2014</b>	<b>% DE LA POBLACIÓN TOTAL</b>
Chocaví Chico	236	4,93 %
Chocaví Central	261	5,19 %
Pichán Central	271	5,66 %
<b>TOTAL</b>	768	15,78 %
Índice de Crecimiento Intercensal	1.419%	

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

Teniendo en cuenta la población de 768 habitantes en el año 2014 se proyectará a 20 años la población actual que se tiene en las comunidades de Chocaví Chico, Chocaví Central y Pichán Central con un índice de crecimiento intercensal de 1.419%

#### **1.11.1.2 POBLACIÓN DE DISEÑO O POBLACIÓN FUTURA**

La población de diseño o futura es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para una comunidad. El sistema de tratamiento de agua no se diseña para satisfacer una necesidad actual sino que debe prever el crecimiento de la población en un período de tiempo estimando el cual será la población a futuro y determinando la demanda de agua para el período final del diseño.

Este tiempo de diseño de la planta para potabilizar el agua debe ser prudencial y puede variar entre 10 y 23 años de vida útil.

Para el cálculo de la población futura se utiliza el método de crecimiento geométrico, dado que la aplicación de este método supone que la población aumenta constantemente en una cifra proporcional a su volumen cambiante.

Para obtener la población futura se aplica al último dato poblacional, que se tenga, la fórmula del interés compuesto manteniendo constante la misma tasa anual de crecimiento del periodo anterior, y es aplicado para las poblaciones con habitantes menores a 10 000.

$$P_f = P_a(1 + r)^{n_t}$$

**(Ecuación 1.2)**

Donde:

$P_f$ : Población futura

$P_a$ : Población actual

$r$ : Tasa de crecimiento, (%)

$n_t$ : Intervalo de tiempo, (años)

#### 1.11.1.3 NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

Esto se lo realiza de acuerdo con la población de diseño calculada, se emplea la siguiente tabla:

**Tabla 1. 5 Nivel de Complejidad del Sistema**

<b>Nivel</b>	<b>Población de diseño</b>
<b>Bajo</b>	< 2500
<b>Medio</b>	2501 – 12500
<b>Medio Alto</b>	12501 – 60000
<b>Alto</b>	> 60000

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices.

#### 1.11.1.4 DOTACIÓN BRUTA

Se refiere a la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto.

$$DB = \frac{DN}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

(Ecuación 1.3)

Donde:

DB: Dotación bruta, (L/hab\*día)

DN: Dotación neta, (L/hab\*día)

Pérdidas Técnicas, (%)

#### 1.11.1.5 PÉRDIDAS TÉCNICAS

Las pérdidas técnicas para la dotación bruta pueden determinarse a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 1. 6 Pérdidas Técnicas, según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de Complejidad	% Máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices.

#### 1.11.1.6 DOTACIÓN NETA

Se refiere a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto, expresada en L/hab\*día:

**Tabla 1. 7 Dotación Neta, según el nivel de complejidad del sistema**

<b>Nivel de Complejidad</b>	<b>Dotación neta mínima L/hab*día</b>	<b>Dotación neta máxima L/hab*día</b>
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices.

#### 1.11.1.7 CAUDAL MEDIO DIARIO

Es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = P_f * DB$$

**(Ecuación 1.4)**

Donde:

$Q_{md}$ : Caudal medio diario, (L/día)

$P_f$ : Población futura, (hab)

$DB$ : Dotación bruta, (L/hab\*día)

### 1.11.1.8 CAUDAL MÁXIMO DIARIO

#### 1.11.1.8.1 COEFICIENTE DE CONSUMO MÁXIMO DIARIO

Los valores que puede tomar el coeficiente de consumo máximo diario ( $K_1$ ) son los siguientes:

**Tabla 1. 8 Valores de  $K_1$**

Nivel de Complejidad	$K_1$
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices.

Se refiere al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario,  $K_1$ , y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{Md} = \frac{K_1 * Q_{md}}{86400}$$

**(Ecuación 1.5)**

Donde:

$Q_{Md}$ : Caudal máximo diario, (L/día)

$K_1$ : Coeficiente de consumo máximo diario, (adimensional)

$Q_{md}$ : Caudal medio diario, (L/día)

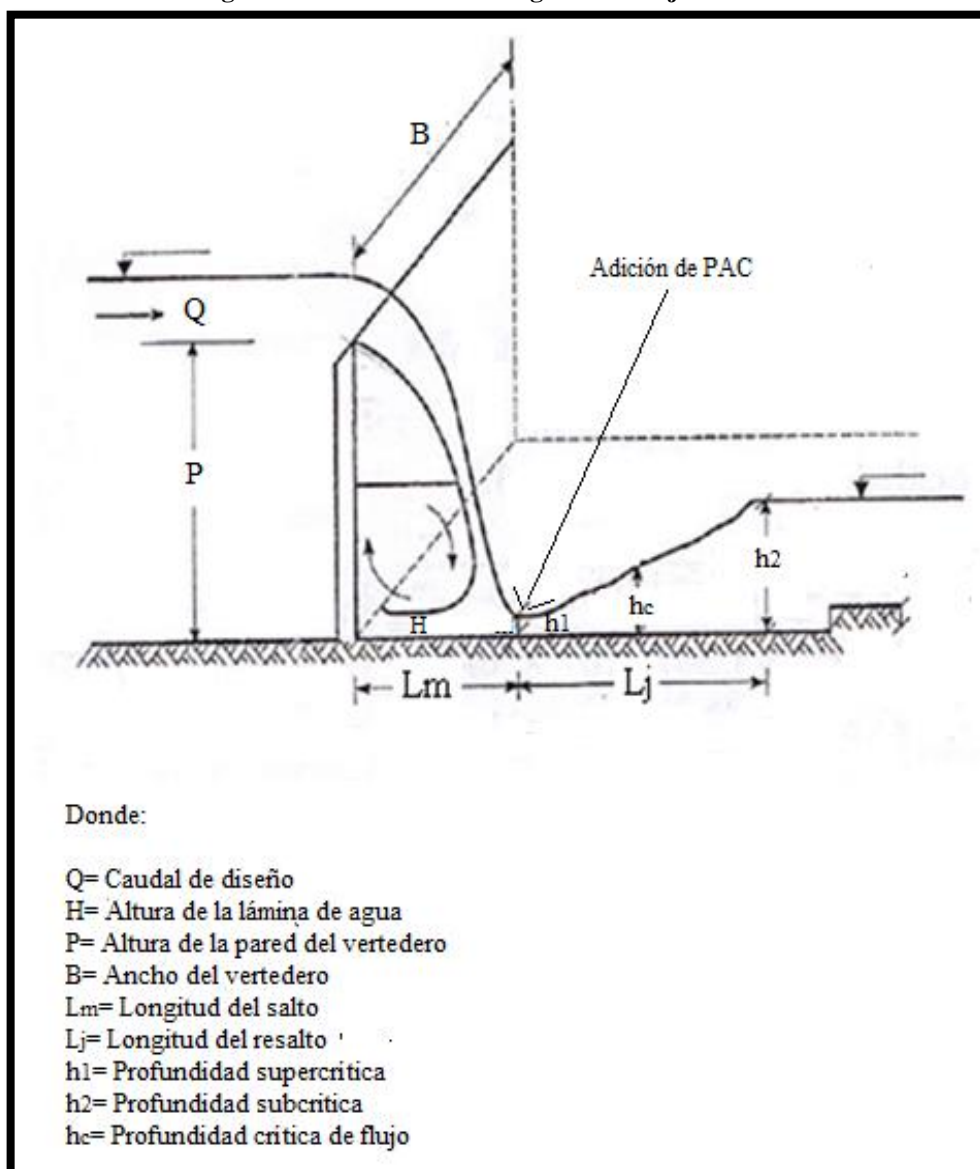
El caudal de diseño para la planta de tratamiento es el caudal máximo diario ya que el diseño del sistema de tratamiento contará con un tanque de almacenamiento.



### 1.11.2 MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDERO RECTANGULAR

El sistema de tratamiento inicia en un vertedero rectangular, cuya función principal es dispersar de manera rápida, eficiente y uniforme el policloruro de aluminio (PAC) a través del flujo de agua. Se utilizará un mezclador hidráulico en vertedero rectangular sin contracciones ya que es uno de los más sencillos de construir, por ser económico y además posee una alta efectividad al momento de realizar la mezcla rápida; todo esto contribuye a que el vertedero rectangular sea uno de los más utilizados.

Figura 1. 9 Vertedero Rectangular de Flujo horizontal



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

Las ecuaciones y el procedimiento a seguir en los cálculos para el diseño de un vertedero rectangular al realizar la mezcla rápida dentro del sistema de tratamiento son las siguientes:

#### **1.11.2.1 ANCHO DEL VERTEDERO RECTANGULAR DE FLUJO HORIZONTAL (B)**

El ancho del vertedero se calcula a partir de la ecuación empleada para determinar el caudal de un vertedero rectangular sin contracciones laterales, en caída libre.

$$B = \frac{Q}{1,84 H^{3/2}}$$

**(Ecuación 1.6)**

Donde:

Q: Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s)

H: Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua, (m) (Tabla 1.10.)

B: Ancho del vertedero, (m)

#### **1.11.2.2 CAUDAL POR UNIDAD DE ANCHO (q)**

El caudal unitario, caudal por unidad de ancho del vertedero, está dado por:

$$q = \frac{Q}{B}$$

**(Ecuación 1.7)**

Donde:

Q: Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s)

B: Ancho del vertedero, (m)

q: Caudal por unidad de ancho, (m<sup>2</sup>/s)

### 1.11.2.3 PROFUNDIDAD CRÍTICA DE FLUJO ( $h_c$ )

La profundidad crítica de flujo es la profundidad en la cual un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica. La profundidad crítica de flujo es:

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

(Ecuación 1.8)

Donde:

q: Caudal por unidad de ancho, ( $m^2/s$ )

g: Aceleración de la gravedad, ( $m/s^2$ )

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo, (m)

### 1.11.2.4 LONGITUD DEL SALTO ( $L_m$ )

La longitud del salto es la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda.

La altura de la pared del vertedero, P, será de 0,50 m para tener un resalto estable y mezcla eficiente (tabla 1.10)

Para el cálculo de la longitud del salto se usa la ecuación siguiente:

$$L_m = 4,3P^{0,1}h_c^{0,9}$$

(Ecuación 1.9)

Donde:

P: Altura de la pared del vertedero, (m) (Tabla 1.10.)

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo, (m)

$L_m$ : Longitud del salto, (m)

#### **1.11.2.5 PROFUNDIDAD SUPERCRÍTICA O ALTURA DEL AGUA DESPUÉS DEL SALTO ( $h_1$ )**

Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad será mayor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina supercrítico, o flujo rápido, o veloz. Cuando hay resalto, la profundidad del agua está relacionada con la profundidad crítica, por la ecuación White:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

**(Ecuación 1.10)**

Donde:

P: Altura de la pared del vertedero, (m) (Tabla 1.10.)

$h_c$ : Profundidad crítica de flujo, (m)

$h_1$ : Profundidad supercrítica, (m)

#### **1.11.2.6 VELOCIDAD DEL AGUA EN EL SALTO ( $v_1$ )**

La velocidad del agua en el salto se calcula por la siguiente ecuación:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

**(Ecuación 1.11)**

Donde:

q: Caudal por unidad de ancho, ( $m^2/s$ )

$h_1$ : Profundidad supercrítica, (m)

$v_1$ : Velocidad del agua en el salto, (m/s)

#### **1.11.2.7 NÚMERO DE FROUDE (F)**

El número de Froude es un número adimensional que en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico, recibe este nombre en honor al ingeniero inglés William Froude.

Para que haya resalto estable y mezcla eficiente, el número de Froude debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

**(Ecuación 1.12)**

Donde:

$v_1$ : Velocidad del agua en el salto, (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

$F$ : Número de Froude, (adimensional)

#### **1.11.2.8 PROFUNDIDAD SUBCRÍTICA O ALTURA DEL AGUA DESPUÉS DEL RESALTO ( $h_2$ )**

Cuando la profundidad del flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad será menor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina subcrítico, o flujo lento. La profundidad subcrítica se determina mediante la siguiente ecuación:

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) h_1$$

**(Ecuación 1.13)**

Donde:

$F$ : Número de Froude, (adimensional)

$h_1$ : Profundidad supercrítica, (m)

$h_2$ : Profundidad subcrítica, (m)

#### **1.11.2.9 VELOCIDAD DEL AGUA EN EL RESALTO ( $v_2$ )**

La velocidad del agua en el resalto se calcula por la expresión:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

**(Ecuación 1.14)**

Donde:

$q$ : Caudal por unidad de ancho, ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$h_2$ : Profundidad subcrítica, (m)

$v_2$ : Velocidad del agua en el resalto, (m/s)

#### **1.11.2.10 PÉRDIDA DE ENERGÍA EN EL RESALTO ( $h$ )**

Cuando un flujo a régimen supercrítico se encuentra con una corriente subcrítica, se presenta un choque. Debido al choque, en el salto hidráulico ocurre una fuerte turbulencia que ocasiona pérdidas de energía.

La pérdida de energía en el resalto, se puede calcular por la fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

**(Ecuación 1.15)**

Donde:

$h_2$ : Profundidad subcrítica, (m)

$h_1$ : Profundidad supercrítica, (m)

$h$ : Pérdida de energía en el resalto, (m)

#### **1.11.2.11 LONGITUD DEL RESALTO ( $L_j$ )**

La longitud del resalto, para resalto estable, se calcula por la fórmula de Smetana:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

**(Ecuación 1.16)**

Donde:

$h_2$ : Profundidad subcrítica, (m)

$h_1$ : Profundidad supercrítica, (m)

$L_j$ : Longitud del resalto, (m)

#### **1.11.2.12 VELOCIDAD MEDIA EN EL RESALTO ( $v_m$ )**

La velocidad media en el resalto se calcula por la siguiente ecuación:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

**(Ecuación 1.17)**

Donde:

$v_1$ : Velocidad del agua en el salto, (m/s)

$v_2$ : Velocidad del agua en el resalto, (m/s)

$v_m$ : Velocidad media en el resalto, (m/s)

#### **1.11.2.13 TIEMPO DE MEZCLA ( $t_m$ )**

El tiempo de mezcla o retención es el tiempo en el cual el agua cruda va a estar en contacto con el floculante y se calcula por la ecuación:

$$t_m = \frac{L_j}{v_m}$$

**(Ecuación 1.18)**

Donde:

$L_j$ : Longitud del resalto, (m)

$v_m$ : Velocidad media en el resalto, (m/s)

$t_m$ : Tiempo de mezcla o retención, (s)

#### **1.11.2.14 GRADIENTE DE VELOCIDAD (G)**

El gradiente de velocidad es ampliamente aceptado como un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla.

El gradiente de velocidad puede calcularse con la ecuación siguiente:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t_m}}$$

**(Ecuación 1.19)**

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del agua, (N/m<sup>3</sup>) (Tabla 1.9.)

$\mu$ : Viscosidad dinámica del agua, (Pa.s) (Tabla 1.9.)

$h$ : Pérdida de energía en el resalto, (m)

$t_m$ : Tiempo de mezcla o retención, (s)

$G$ : Gradiente de velocidad, (s<sup>-1</sup>)



### 1.11.2.15 CONSIDERACIONES ADICIONALES

**Tabla 1. 9 Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión**

<b>Temperatura °C</b>	<b>Densidad <math>\rho</math> Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso específico <math>\gamma</math> kN/m<sup>3</sup></b>	<b>Viscosidad dinámica <math>\mu_{H_2O}^{10-3}</math> (Pa s) o (N.s/m<sup>2</sup>)</b>
0	999,8	9,805	1,781
5	1000,0	9,807	1,518
8	999,8	9,805	1,391
10	999,7	9,804	1,307
15	999,1	9,798	1,139
20	998,2	9,789	1,102

**Fuente:** <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/PropiedadesFisicasAgua.htm>

**Tabla 1. 10 Parámetros de Diseño de Vertederos Rectangulares**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua, H	0,05 (mínimo)	m
Altura de la pared del vertedero para un resalto estable, P	0,50 (mínimo)	m
Rangos del Número de Froude, F	4,5-9	-

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

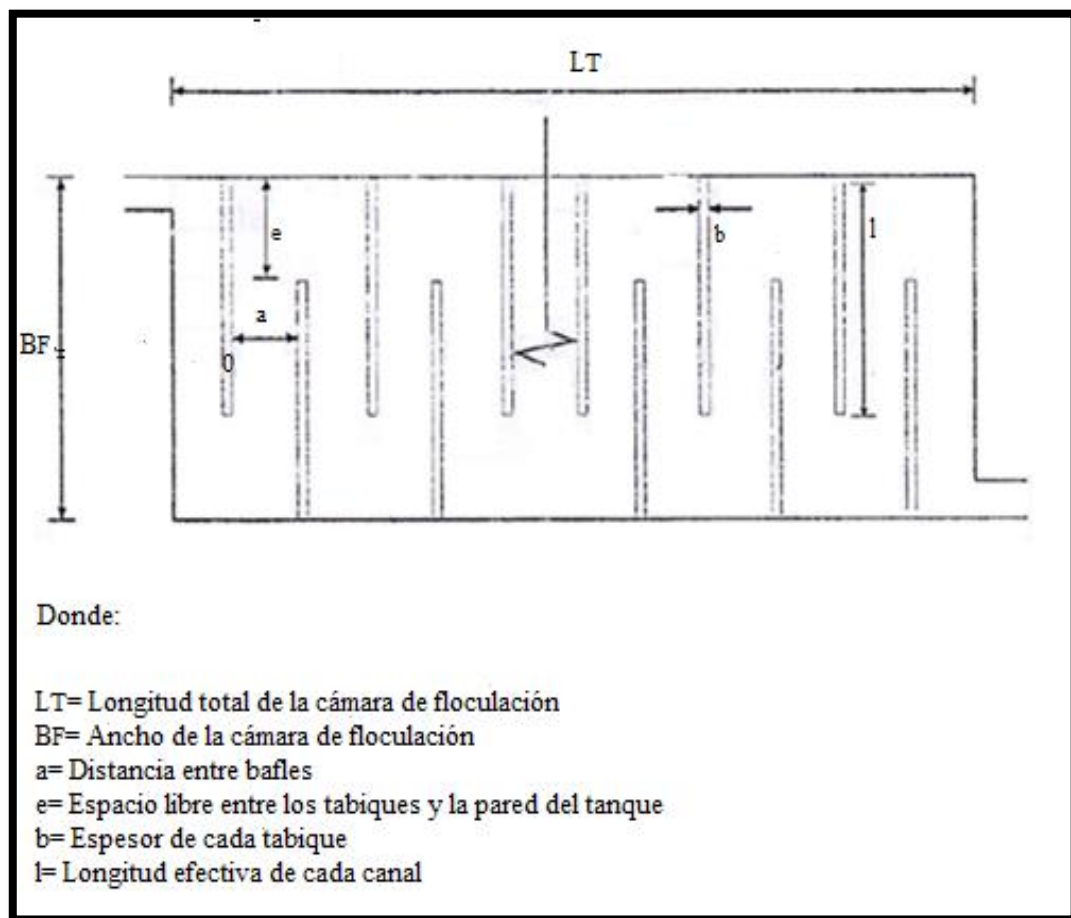
### 1.11.3 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL

Posterior al mezclado del agua con el policloruro de aluminio empiezan a aparecer partículas de difícil sedimentación las mismas se aglutinan y adhieren, dando origen a la formación de flocs. En el floculador el agua es sometida a una agitación lenta para que de esta manera los flocs aumenten de tamaño y sedimenten.

Se ha propuesto utilizar un floculador hidráulico de flujo horizontal o de tabiques ya que en este predomina el flujo de pistón es decir operan en régimen estable, por lo que se consigue un buen ajuste y un mayor control en el tiempo de retención.

Este floculador consiste en un tanque de concreto u hormigón dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. Son recomendables para caudales menores de 50 litros por segundo.

**Figura 1. 10 Floculador Hidráulico de flujo horizontal con Tabiques**



**Fuente:** VILLEGAS, M. P. Purificación de Aguas. Floculación.

Las ecuaciones y el procedimiento a seguir en los cálculos para el diseño de un floculador hidráulico de flujo horizontal dentro del sistema de tratamiento son las siguientes:

#### **1.11.3.1 DISTANCIA O LONGITUD TOTAL RECORRIDA POR EL AGUA (L)**

Para un periodo de mezcla,  $t$ , y una velocidad de flujo,  $v$ , la distancia total recorrida por el agua es:

$$L = v * t$$

**(Ecuación 1.20)**

Donde:

$v$ : Velocidad de flujo, (m/s) (literal 1.11.2.9)

$t$ : Tiempo de mezcla o retención, (s) (Tabla 1.13.)

$L$ : Longitud total recorrida por el agua, (m)

#### **1.11.3.2 VOLUMEN DE AGUA (V)**

El volumen de agua que hay que mezclar en un periodo,  $t$ , es:

$$V = Qt$$

**(Ecuación 1.21)**

Donde:

$t$ : Tiempo de mezcla o retención, (s) (Tabla 1.13.)

$Q$ : Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s)

$V$ : Volumen de agua, (m<sup>3</sup>)

### 1.11.3.3 SECCIÓN O ÁREA TRANSVERSAL DE LOS CANALES (A)

La sección o área transversal requerida de un canal entre baffles será:

$$A = \frac{Q}{v}$$

(Ecuación 1.22)

Donde:

Q: Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/s)

v: Velocidad de flujo, (m/s) (literal 1.11.2.9)

A: Sección o área transversal requerida de los canales, (m)

### 1.11.3.4 PROFUNDIDAD DEL FLUJO AGUA (d)

La profundidad del agua puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$d = \frac{A}{a}$$

(Ecuación 1.23)

Donde:

A: Sección a área transversal requerida de los canales, (m)

a: Separación entre tabiques, (m) (Tabla 1.13.)

d: Profundidad del Agua, (m)

### 1.11.3.5 PROFUNDIDAD TOTAL DEL TANQUE (Z<sub>TF</sub>)

La profundidad total del tanque se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Z_{TF} = d * fs$$

(Ecuación 1.24)

Donde:

d: Profundidad del Agua, (m)

fs: Factor de seguridad, (%) (Tabla 1.13.)

#### **1.11.3.6 ESPACIO LIBRE ENTRE LOS TABIQUES Y LA PARED DEL TANQUE (e)**

Es la distancia de los baffles o tabiques a la pared del tanque, y es 1,5 veces la separación entre tabiques y puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$e = 1,5 a$$

**(Ecuación 1.25)**

Donde:

a: Separación entre tabiques, (m) (Tabla 1.13.)

e: Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque, (m)

#### **1.11.3.7 LONGITUD EFECTIVA DE CADA CANAL (l)**

La longitud efectiva de cada canal se calcula por la ecuación:

$$l = B_F - e$$

**(Ecuación 1.26)**

Donde:

B<sub>F</sub>: Ancho del floculador, (m) (Tabla 1.13.)

e: Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque, (m)

l: Longitud efectiva de cada canal, (m)

#### **1.11.3.8 NÚMERO REQUERIDO DE CANALES (N)**

El número requerido de canales se calcula por la expresión:

$$N = \frac{L}{l}$$

**(Ecuación 1.27)**

Donde:

L: Longitud total recorrida por el agua, (m)

l: Longitud efectiva de cada canal, (m)

N: Número de canales, (adimensional)

#### **1.11.3.9 LONGITUD TOTAL DE LA CÁMARA DE FLOCULACIÓN (L<sub>T</sub>)**

La longitud total interior de la cámara de floculación se calcula por la expresión:

$$L_T = N a + (N - 1)b$$

**(Ecuación 1.28)**

Donde:

N: Número de canales, (adimensional)

a: Distancia entre baffles, (m) (Tabla 1.13.)

b: Espesor de la lámina o tabique, (m) (Tabla 1.13.)

L<sub>T</sub>: Longitud total de la cámara de floculación, (m)

#### **1.11.3.10 RADIO HIDRÁULICO (R)**

El radio hidráulico, es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, generalmente es representado por la letra R, y es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado.

Su cálculo está en función de la forma geométrica de la sección transversal del canal, en este caso es una sección de tipo rectangular, por lo tanto para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A}{2d + a}$$

**(Ecuación 1.29)**

Donde:

A: Sección o área transversal requerida de los canales, (m)

d: Profundidad del Agua, (m)

a: Distancia entre baffles, (m) (Tabla 1.13.)

R: Radio hidráulico, (m)

#### **1.11.3.11 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TANQUE ( $h_f$ )**

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo en este caso el floculador, presentan resistencia al flujo debido al roce que hay entre el líquido y la pared de la tubería lo cual genera que parte de la energía del sistema se transforme en energía térmica; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

$$h_f = \frac{(vn)^2}{R^{4/3}} L$$

**(Ecuación 1.30)**

Donde:

v: Velocidad de flujo, (m/s)

n: Coeficiente de Manning, (adimensional) (Tabla 1.12.)

R: Radio hidráulico, (m)

L: Longitud total recorrida por el agua, (m)

$h_f$ : Pérdidas por fricción en el tanque, (m)

#### **1.11.3.12 PÉRDIDAS ADICIONALES ( $h_a$ )**

Las pérdidas adicionales son las que se generan principalmente en las vueltas o giros que da el agua al pasar de un canal a otro.

$$h_a = k(N - 1) \frac{v^2}{2g}$$

**(Ecuación 1.31)**

Donde:

k: Constante empírica (2 a 4, generalmente 3) (Tabla 1.13.)

N: Número de canales, (adimensional)

v: Velocidad de flujo, (m/s)

g: Aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

$h_a$ : Pérdidas adicionales, (m)

#### **1.11.3.13 PÉRDIDA DE CARGA TOTAL ( $h_T$ )**

La potencia disipada en el agua está dada por la pérdida de carga o energía correspondiente a las pérdidas por fricción en los tramos rectos y las pérdidas adicionales o localizadas en los giros.

$$h_T = h_f + h_a$$

**(Ecuación 1.32)**

Donde:

$h_f$ : Pérdidas por fricción en el tanque, (m)

$h_a$ : Pérdidas adicionales, (m)

$h_T$ : Pérdida de carga total, (m)



#### 1.11.3.14 GRADIENTE DE VELOCIDAD (G)

El gradiente de velocidad al igual que el tiempo son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_T}{\mu t}}$$

(Ecuación 1.33)

Donde:

G: Gradiente de velocidad, (s<sup>-1</sup>)

γ: Peso específico del agua, (N/m<sup>3</sup>) (Tabla 1.9.)

μ: Viscosidad dinámica del agua, (Pa.s) (Tabla 1.9.)

h<sub>T</sub>: Pérdida de carga total, (m)

t: Tiempo de mezcla o retención, (s)

#### 1.11.3.15 NÚMERO ADIMENSIONAL DE CAMP (G<sub>t</sub>)

El número adimensional de Camp es un parámetro de diseño necesario para saber si el tiempo de mezcla asumido es el correcto, según la tabla 1.11. Puede calcularse por la expresión:

$$G_t = G * t$$

(Ecuación 1.34)

Donde:

G: Gradiente de velocidad, (s<sup>-1</sup>)

t: Tiempo de mezcla o retención, (s) (Tabla 1.13.)

G<sub>t</sub>: Número de Camp, (adimensional).

### 1.11.3.16 CONSIDERACIONES ADICIONALES

**Tabla 1. 11 Parámetros de Diseño para Floculadores Hidráulicos de Tabiques**

<b>Criterio</b>	<b>G (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>t (min)</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>v (m/s)</b>	<b>h<sub>T</sub></b>
Smethurst	20 – 100	10 – 60	20000 – 150000	0,15 – 0,50	0,15 – 0,60
Arboleda	10 – 100	15 – 20	-	0,10 – 0,60	-
Insfopal	-	15 – 60	-	0,15 – 0,45	-
Hardenbergh y Rodie	-	20 – 50	-	0,15 – 0,45	-
Fair y Geyer	-	10 – 90	-	0,10 – 0,90	0,30 – 0,90
Awwa	5 – 100	10 – 60	30000 – 150000	0,09 – 0,30	-
Cepis	10 – 100	10 – 60	-	0,10 – 0,60	-
RAS 2000	20 – 70	20 – 30	-	0,20 – 0,60	-

**Fuente:** VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas. Floculadores

**Tabla 1. 12 Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning**

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de Manning (n)</b>
Asbesto – cemento	0,012
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Concreto (cimbra metálica)	0,011
Concreto (cimbra madera)	0,015
Concreto simple	0,013
Cobre	0,011
Acero corrugado	0,022
Plástico (PVC)	0,009
Madera (duelas)	0,012
Vidrio (laboratorio)	0,011

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/152131826/Coeficientes-de-Rugosidad-Haestad-pdf>

**Tabla 1. 13 Parámetros de Diseño de Flocladores de Tabiques**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tiempo de mezcla o de retención, t	20 (promedio)	min
Ancho útil de la cámara de floclación, B <sub>f</sub>	4,5	m
Factor de seguridad para el tanque, fs	10 (recomendado)	%
Distancia entre baffles, a	0,15 (recomendado)	m
Espesor de cada tabique, b	3 (recomendado)	cm
Constante empírica para calcular pérdidas adicionales, k	3	-

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Floclación.

#### **1.11.4 DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO EN LA ETAPA DE FLOCULACIÓN**

La cantidad de PAC a utilizar por día se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

**(Ecuación 1.35)**

Donde:

Q: Caudal de diseño, (m<sup>3</sup>/h)

C: Concentración de acuerdo al test de jarras, (ppm)

P: Porcentaje de dilución, (%)

ρ: Densidad del PAC, (Kg/L)

#### **1.11.4.1 PRUEBA DE JARRAS**

La prueba o ensayo de jarras es un procedimiento muy utilizado en los laboratorios, este ensayo lo que hace es simular las condiciones en las que se realizan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Su objetivo principal es encontrar la dosis de coagulantes que produce la más rápida desestabilización en las partículas coloidales que se manifiesta por la formación de un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores para que de esta manera no se rompa al momento de pasar por el filtro.

También debe tenerse en cuenta que no necesariamente el floc que sedimenta más rápido es el mismo que queda retenido en el filtro con mayor facilidad. El floc que será de utilidad por tanto, es aquel con el mayor rendimiento posible en el conjunto de los procesos de clarificación.

La prueba de jarras intenta reproducir las condiciones en las que se va a producir la floculación ya dentro del sistema de tratamiento. La misma se llevará a cabo continua y periódicamente dentro del sistema por ello debe tenerse especial cuidado al momento de realizarla para evitar errores que puedan alterar la calidad del agua a tratar. De acuerdo con los resultados de la prueba de jarras se deben dosificar los miligramos por litro (mg/l), que dará una máxima calidad de agua con el mínimo consumo de coagulantes.

##### **1.11.4.1.1 OBJETIVOS DE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE JARRAS**

El ensayo o prueba de jarras es de gran utilidad ya que ayuda a:

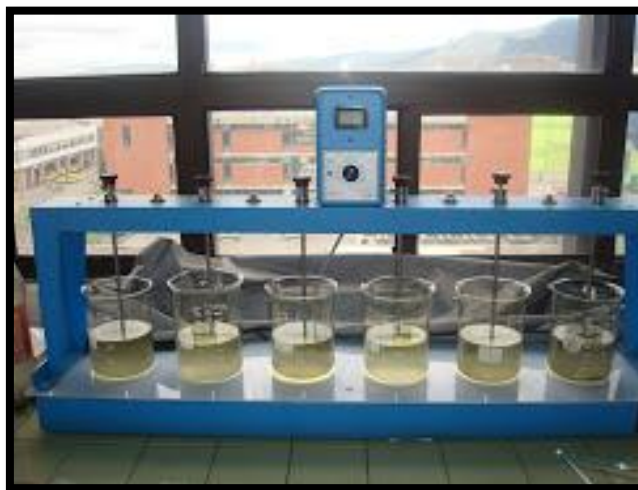
- Seleccionar el tipo de coagulante más efectivo.
- Determinar la dosis de coagulante que se debe aplicar en el sistema de tratamiento.
- Encontrar el pH óptimo al que debe llevarse a cabo la coagulación, este es el pH que permite la formación de los flóculos y no es igual para todas las aguas.
- Determinar el orden de adición más eficiente de los distintos reactivos químicos.
- Encontrar los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.

#### **1.11.4.1.2 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE TENER UN EQUIPO PARA PRUEBA DE JARRAS**

Las principales características que debe tener un equipo para un ensayo o prueba de jarras son las siguientes:

- El procedimiento necesita como datos previos mínimos los valores de turbiedad, color, pH, alcalinidad, dureza del agua previa tratamiento, que se obtienen de la caracterización del agua cruda.
- La unidad de mezcla tradicional consiste en una serie de agitadores de paletas que se encuentran acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad.
- La velocidad con la que giran los agitadores de paletas debe encontrarse en un rango entre 10 y 100 rpm.
- Las jarras de coagulación empleadas han sido vasos de precipitación aunque también pueden utilizarse jarras de acrílico transparente.
- La capacidad que deben tener los vasos de precipitación o las jarras de acrílico debe ser mínimo de 2 L. Para evitar cualquier tipo de inconveniente al momento de realizar la agitación.

**Figura 1. 11 Prueba de Jarras**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

#### **1.11.4.1.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE JARRAS**

- Tomar una muestra de agua que cubra la capacidad mínima de los 6 vasos empleados en la prueba, es decir 6 L.
- Determinar la turbiedad, color, pH, alcalinidad del agua cruda sin un previo tratamiento.
- Colocar con mucha exactitud 1 L. previamente medido con una probeta graduada de la muestra fresca de agua cruda.
- Añadir de una manera creciente la cantidad de coagulante en cada uno de los vasos.
- Llevar un registro claro de la cantidad de coagulante que se va añadiendo a cada vaso, ya que la misma va a variar de vaso a vaso.
- Colocar las paletas de agitación dentro de cada uno de los vasos, encender el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.
- Reducir la velocidad normalmente a 30 rpm o a una velocidad similar a la que deben actuar los floculadores de la planta y permitir que la agitación continúe durante unos 15 minutos.
- Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación sean lo más similares a las condiciones de operación de la planta de floculación.
- Tomar el tiempo con suma exactitud hasta el momento que empiezan a formarse los flóculos.
- Parar el mezclador y retirar las paletas de los vasos de precipitación.
- Esperar unos veinte minutos y observar la clarificación en cada uno de los vasos y el floc sedimentado que se ha formado.
- En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> El sobrenadante es la cantidad de agua que se forma por encima de los flóculos y es la misma que se debe analizar sin que tenga contacto con los mismos flóculos para que sus características no se vean alteradas.

- Una vez se encuentren los flóculos completamente asentados, se filtra el sobrenadante a través de un papel filtro.
- Determinar la turbiedad, pH, color y si es necesario alguna otra propiedad química que se haya encontrado previamente fuera de norma en el filtrado obtenido o sobrenadante.
- Posterior a ello analizar las propiedades que se encontraban dentro de norma para verificar que no han sufrido una alteración durante la realización de todo el procedimiento de la prueba de jarras.
- La dosis óptima de coagulante será el resultado de la dosis para la cual se obtiene un floc más resistente, acondicionado, con peso mayor que sedimenta rápidamente y en el que se obtiene la menor turbiedad y el menor color.
- Llevar un registro de resultados ya que en una prueba de jarras lo más importante es el criterio que se tiene al momento de realizar la elección de la cantidad de coagulante o floculante empleado.<sup>26</sup>

---

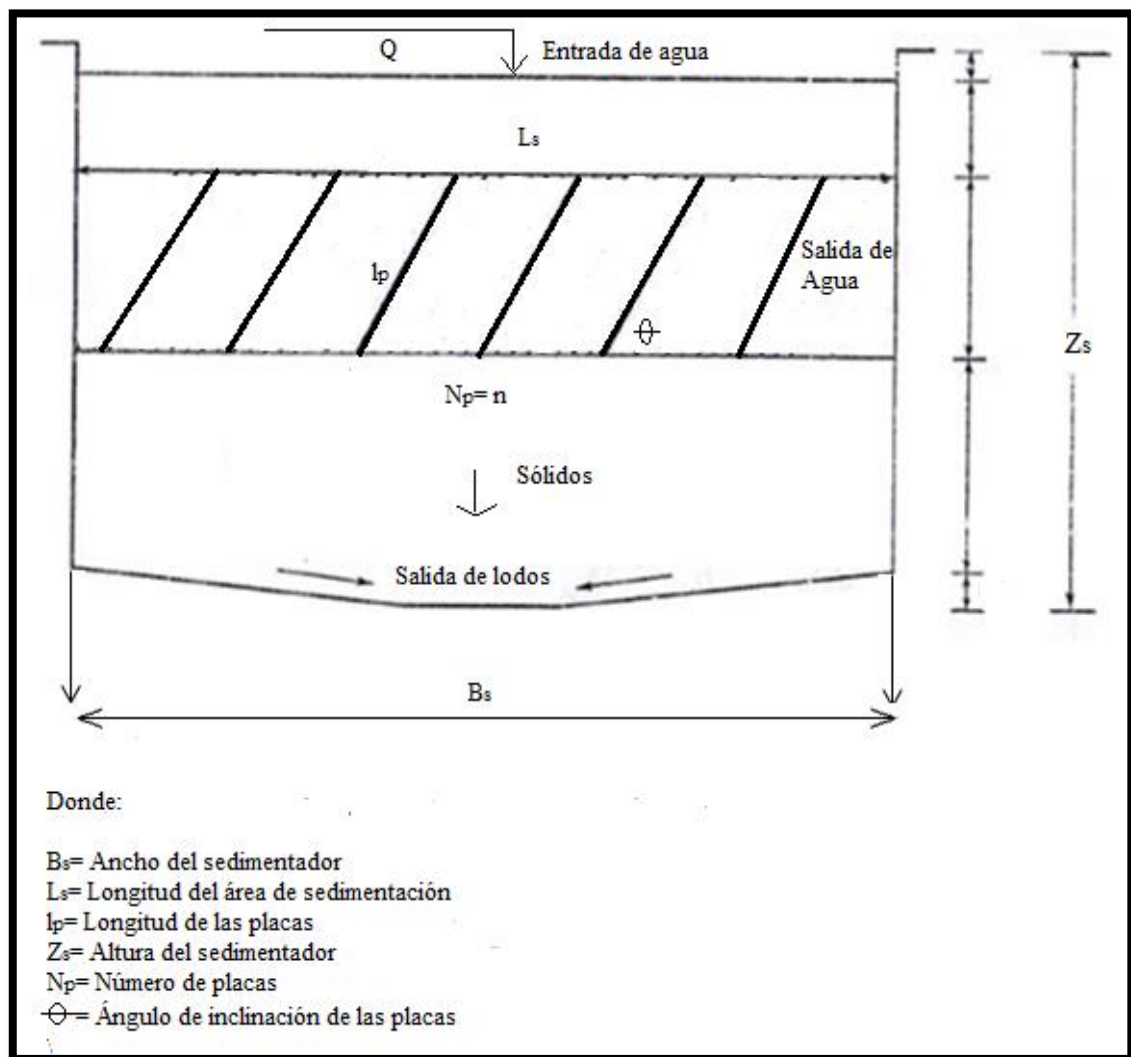
<sup>26</sup> <http://es.scribd.com/doc/16986036/Operacion-de-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas>

### 1.11.5 SEDIMENTADOR LAMINAR

Luego de salir del floculador hidráulico de flujo horizontal o de tabiques el agua a tratar pasa a un sedimentador laminar con la finalidad de sedimentar los flóculos que se han producido en la etapa previa es decir la de floculación.

Se ha propuesto utilizar un sedimentador laminar ya que existen 3 factores que favorecen la sedimentación de las partículas en el mismo, estos son: el aumento del área de sedimentación, la disminución de la altura de la caída de las partículas y el régimen de flujo laminar.

Figura 1. 12 Sedimentador Laminar



Fuente: VILLEGAS, M. P. Purificación de Aguas. Sedimentación.



Las ecuaciones y el procedimiento a seguir en los cálculos para el diseño de un sedimentador laminar dentro del sistema de tratamiento son las siguientes:

#### **1.11.5.1 CARGA SUPERFICIAL O VELOCIDAD PROMEDIO DESPUÉS DE INSTALAR LAS PLACAS ( $v_{so}$ )**

La velocidad promedio del agua con el policloruro de aluminio en la operación de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación está dado por:

$$v_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

**(Ecuación 1.36)**

Donde:

$l_p$ : Longitud de las placas, (m) (Tabla 1.16.)

$t_{rp}$ : Tiempo de retención en las placas, (min) (Tabla 1.15.)

$v_{so}$ : Carga superficial después de instalar las placas, (m/min)

#### **1.11.5.2 ÁREA DE SEDIMENTACIÓN ACELERADA ( $A_s$ )**

Esta área se la determina utilizando la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \sen \theta}$$

**(Ecuación 1.37)**

Donde:

$Q$ : Caudal de diseño, ( $m^3/d$ )

$v_{so}$ : Carga superficial después de instalar las placas, (m/min)

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación, (grados) (Tabla 1.15.)

$A_s$ : Área superficial de sedimentación acelerada, ( $m^2$ )

### 1.11.5.3 LONGITUD DEL ÁREA DE SEDIMENTACIÓN ACELERADA ( $L_s$ )

La longitud del área de sedimentación acelerada será calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

(Ecuación 1.38)

Donde:

$A_s$ : Área superficial de sedimentación acelerada, ( $m^2$ )

$B_s$ : Ancho del sedimentador, (m) (Tabla 1.16.)

$L_s$ : Longitud del área de sedimentación acelerada, (m)

### 1.11.5.4 LONGITUD RELATIVA DEL SEDIMENTADOR ( $L_r$ )

La longitud relativa del sedimentador está definida como:

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

(Ecuación 1.39)

Donde:

$l_p$ : Longitud de las placas, (m) (Tabla 1.16.)

$e_p$ : Distancia entre placas, (m) (Tabla 1.15.)

$L_r$ : Longitud relativa del sedimentador, (adimensional)

#### 1.11.5.5 LONGITUD RELATIVA EN LA REGIÓN DE TRANSICIÓN (L')

De acuerdo con la ecuación de Schulze, la longitud relativa en la región de transición puede calcularse a través de la siguiente expresión:

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} * e_p}{v_{H2O}}$$

(Ecuación 1.40)

Donde:

$v_{so}$ : Carga superficial después de instalar las placas, (m/min)

$e_p$ : Distancia entre placas, (m)

$V_{H2O}$ : Viscosidad cinemática del agua, (m<sup>2</sup>/s) (Tabla 1.18.)

$L'$ : Longitud relativa en la región de transición, (adimensional)

#### 1.11.5.6 LONGITUD RELATIVA CORREGIDA (L<sub>c</sub>)

La longitud relativa corregida del sedimentador en la longitud de transición puede calcularse por:

$$L_c = 2(L_r - L') \quad \text{Si } L' > L_r/2$$

(Ecuación 1.41)

Ó,  $L_c$ , puede calcularse por:

$$L_c = L_r - L' \quad \text{Si } L' \leq L_r/2$$

(Ecuación 1.42)

Donde:

$L_c$ : Longitud relativa corregida, (adimensional)

#### 1.11.5.7 VELOCIDAD CRÍTICA DE SEDIMENTACIÓN ( $v_{sc}$ )

La velocidad crítica de asentamiento o sedimentación está dada por:

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_{so}}{\text{sen}\theta + L_r \cos\theta}$$

(Ecuación 1.43)

Donde:

$S_c$ : Constante para cada tipo de módulo, (adimensional) (Tabla 1.17.)

$v_{so}$ : Velocidad media de flujo en las placas o carga superficial después de instalar las placas, (m/d)

$L_r$ : Longitud relativa del sedimentador, (adimensional)

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación, (grados) (Tabla 1.15.)

$v_{sc}$ : Velocidad crítica de sedimentación, (m/d)

#### 1.11.5.8 NÚMERO DE REYNOLDS ( $N_{Re}$ )

El número de Reynolds es un factor fundamental para que el sedimentador funcione adecuadamente, para calcular el Número de Reynolds se emplea la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{v_{so} * e_p}{v_{H2O}}$$

(Ecuación 1.44)

Donde:

$v_{so}$ : Velocidad media de flujo en las placas o carga superficial después de instalar las placas, (m/d)

$e_p$ : Distancia entre placas, (m) (Tabla 1.15.)

$v_{H2O}$ : Viscosidad cinemática del agua (Tabla 1.18.)

$N_{Re}$ : Número de Reynolds, (adimensional)

En la siguiente tabla se describe el tipo de flujo de un fluido, de acuerdo al número de Reynolds.

**Tabla 1. 14 Tipos de Flujo según el Número de Reynolds**

<b>N<sub>Re</sub></b>	<b>Tipo de flujo</b>
< 2000	Laminar
2000-4000	Transición
> 4000	Turbulento

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

#### **1.11.5.8.1 Régimen Laminar o Poiseuille:**

El flujo tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas (en capas), sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas. En flujo laminar, prácticamente no existe mezcla del fluido entre las capas.

#### **1.11.5.8.2 Régimen Turbulento o de Venturi**

El flujo tiene un movimiento caótico, desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas. En flujo turbulento, existe mucha mezcla, debido a que la velocidad en cada punto no es constante.

Dicha velocidad presenta una fluctuación en el tiempo, produciendo una alta disipación de energía.

#### **1.11.5.8.3 Régimen de Transición**

Presenta características intermedias entre el régimen laminar y el régimen turbulento, aunque generalmente es conocido también como este último.

#### **1.11.5.9 VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR ( $V_{Ts}$ )**

El volumen del tanque sedimentador es igual al producto de su área superficial por la profundidad y puede estimarse a partir de:

$$V_{Ts} = L_s * B_s * Z_s$$

**(Ecuación 1.45)**

Donde:

$L_s$ : Longitud del área de sedimentación acelerada, (m)

$B_s$ : Ancho del sedimentador, (m) (Tabla 1.16.)

$Z_s$ : Altura del sedimentador, (m) (Tabla 1.15.)

$V_{Ts}$ : Volumen del sedimentador, ( $m^3$ )

#### **1.11.5.10 TIEMPO DE RETENCIÓN EN EL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN ( $t_{rs}$ )**

El tiempo de retención en sedimentadores con placas inclinadas es igual al volumen del tanque dividido para el caudal y se calcula por la expresión:

$$t_{rs} = \frac{V_{Ts}}{Q}$$

**(Ecuación 1.46)**

Donde:

$Q$ : Caudal de diseño, ( $m^3/s$ )

$t_{rs}$ : Tiempo de retención en el tanque de sedimentación, (min)

#### 1.11.5.11 NÚMERO DE PLACAS ( $N_p$ )

El número de placas planas paralelas se calcula por la expresión:

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \sin \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

(Ecuación 1.47)

Donde:

$L_s$ : Longitud del área de sedimentación acelerada, (m)

$l_p$ : Longitud de las placas, (m) (Tabla 1.16.)

$e_p$ : Distancia entre placas, (m) (Tabla 1.15.)

$b_p$ : Espesor de las placas, (m) (Tabla 1.16.)

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación, (grados) (Tabla 1.15.)

$N_p$ : Número de placas, (adimensional)

#### 1.11.5.12 CONSIDERACIONES ADICIONALES

**Tabla 1. 15 Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares**

Parámetro	Valor
Tiempo de retención en las placas ( $t_{rp}$ )	15 – 25 min
Número de Reynolds ( $N_{Re}$ )	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Ángulo de Inclinación de las placas ( $\theta$ )	60°
Distancia entre placas ( $e_p$ )	5 cm
Altura sugerida del Sedimentador ( $Z_s$ )	3 – 5 m
Pendiente del fondo	> 2%

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

**Tabla 1. 16 Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto - Cemento**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Longitud ( $l_p$ )	1,20 m
Ancho ( $B_s$ )	2,40 m
Espesor ( $b_p$ )	0,01 m

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

**Tabla 1. 17 Valores de  $S_c$  Típicos**

<b>Tipo de módulo</b>	<b><math>S_c</math></b>
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

**Fuente:** VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas. Sedimentadores

**Tabla 1. 18 Viscosidad Cinemática del Agua en función de la Temperatura a 1 Atmósfera**

<b>Temperatura °C</b>	<b>Viscosidad cinemática <math>\nu_{H_2O}^{10^{-6}}</math> <math>m^2/s</math></b>
0	1,785
5	1,519
8	1,498
10	1,306
15	1,139
20	1,003

**Fuente:** <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/PropiedadesFisicasAgua.htm>

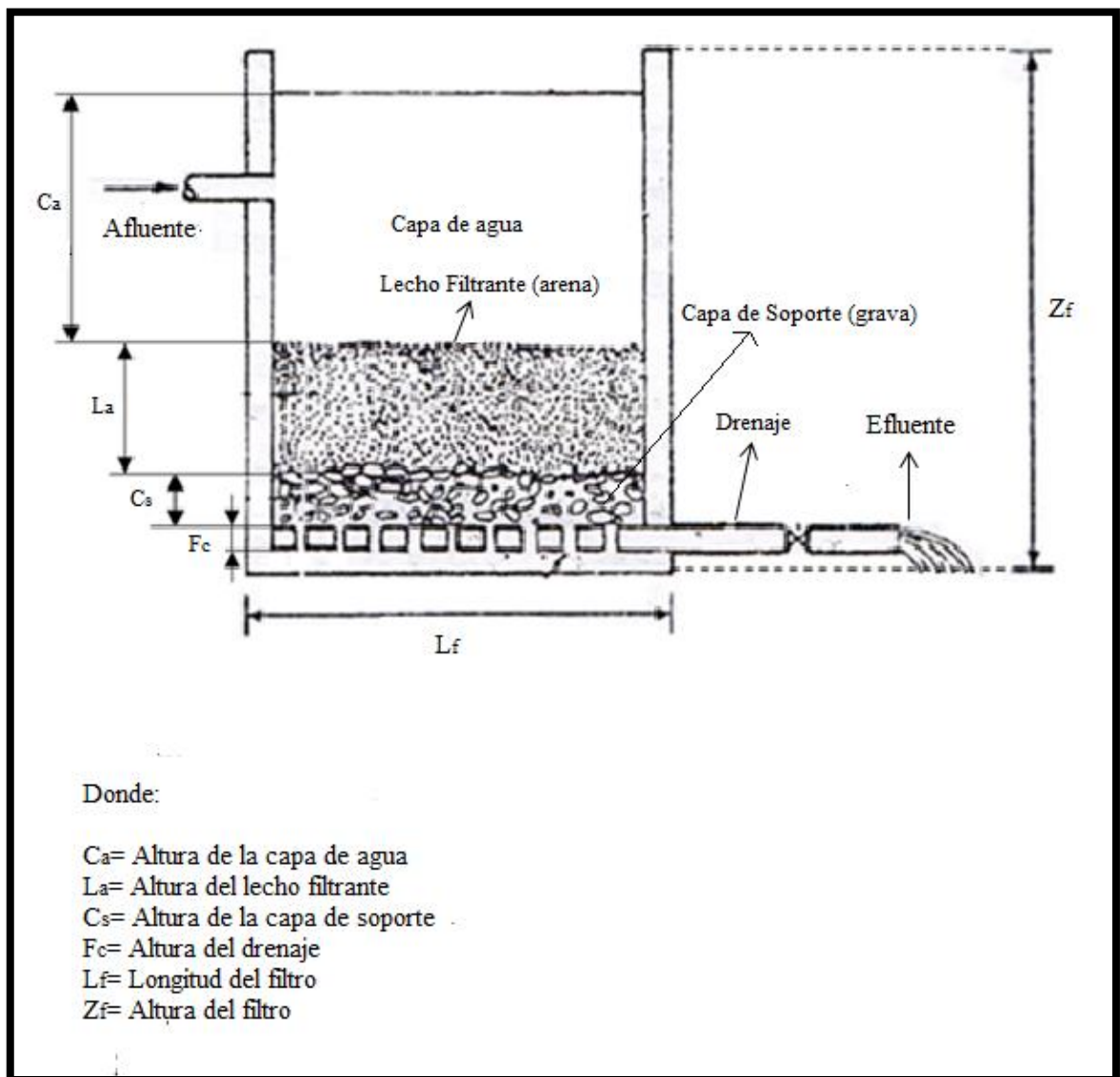


### 1.11.6 FILTRACIÓN RÁPIDA EN ARENA

Luego de salir del sedimentador laminar, el agua a tratar pasa a un filtro rápido de arena con la finalidad de eliminar las partículas suspendidas y coloidales generadas en la etapa de floculación y que no sedimentaron en la etapa anterior de tratamiento.

Se ha propuesto utilizar un filtro rápido de arena, debido a su costo moderado y a su alta eficiencia que proporciona un complemento confiable en la disminución de color, turbiedad, hierro y coliformes que son los parámetros fuera de norma.

Figura 1. 13 Filtro Rápido de Arena



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración.

Las ecuaciones y el procedimiento a seguir en los cálculos para el diseño de un equipo de filtración rápida en arena dentro del sistema de tratamiento son las siguientes:

#### **1.11.6.1 NÚMERO DE FILTROS ( $n_f$ )**

Normalmente se consideran como mínimo 2 unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros. Mcrill y Wallace, proponen la siguiente ecuación para estimar el número de filtros:

$$n_f = 0,044 \sqrt{Q}$$

**(Ecuación 1.48)**

Donde:

Q: caudal total en ( $m^3/d$ )

$n_f$ : Número de filtros, (adimensional)

#### **1.11.6.2 ÁREA DEL FILTRO ( $A_f$ )**

El área total del filtro se puede obtener del caudal de agua en  $m^3/h$  y de la tasa de filtración. El área del filtro se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A_f = \frac{Q}{t_f}$$

**(Ecuación 1.49)**

Donde:

Q= Caudal ( $m^3/d$ )

$T_f$ = Tasa de filtración ( $m^2/d$ ) (Tabla 1.21.)

$A_f$ : Área del filtro, ( $m^2$ )

### 1.11.6.3 COEFICIENTE DE MÍNIMO COSTO ( $K_c$ )

Una relación entre la longitud y el ancho del filtro,  $K_c$ , puede definirse como:

$$K_c = \frac{L_f}{a_f}$$

(Ecuación 1.50)

Ó también,  $K_c$ , puede calcularse por:

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

(Ecuación 1.51)

Donde:

$L_f$ : Longitud del filtro, (m)

$a_f$ : Ancho del filtro, (m)

$n_f$ : Número de filtros, (adimensional)

$K_c$ : Coeficiente de mínimo costo, (adimensional)

### 1.11.6.4 LONGITUD DEL FILTRO ( $L_f$ )

La longitud del filtro se calcula por la ecuación siguiente:

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c}$$

(Ecuación 1.52)

Donde:

$K_c$ : Coeficiente de mínimo costo, (adimensional)

$A_f$ : Área del filtro, ( $m^2$ )

$L_f$ : Longitud del filtro, (m)

#### 1.11.6.5 ANCHO DEL FILTRO ( $a_f$ )

El ancho del filtro se calcula por la ecuación siguiente:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

(Ecuación 1.53)

Donde:

$K_c$ : Coeficiente de mínimo costo, (adimensional)

$A_f$ : Área del filtro, ( $m^2$ )

$a_f$ : Ancho del filtro, (m)

#### 1.11.6.6 COMPOSICIÓN DEL LECHO FILTRANTE

El lecho filtrante está formado por partículas de granulometría graduada. Estas partículas pueden ser arena, grava u otros materiales granulados.

La composición del lecho filtrante para un filtro rápido de arena se determinará en función de los parámetros de diseño expuestos en la tabla 1.19.

#### 1.11.6.7 ALTURA DEL FILTRO ( $Z_f$ )

La altura del filtro puede estimarse con la ecuación:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + Fc)$$

(Ecuación 1.54)

Donde:

$f_s$ : Factor de seguridad, (%) (Tabla 1.19.)

$C_a$ : Altura del agua sobre el lecho, (m) (Tabla 1.19.)

$L_a$ : Altura del lecho filtrante, (m) (Tabla 1.19.)

$C_s$ : Altura de capa de soporte grava, (m) (Tabla 1.19.)

$Fc$ : Altura del drenaje, (m) (Tabla 1.19.)

$Z_f$ : Altura del filtro, (m)

#### **1.11.6.8 SISTEMA DE DRENAJE**

La función más importante del drenaje del filtro consiste en proveer una distribución uniforme del agua de lavado, además sirve para recoger el agua filtrada.

##### **1.11.6.8.1 ÁREA DE LOS ORIFICIOS LATERALES ( $A_o$ )**

El área de los orificios laterales se determina por la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

**(Ecuación 1.55)**

Donde:

$D_o$ : Diámetro del orificio, (m) (Tabla 1.20.)

$A_o$ : Área de cada orificio, ( $m^2$ )

##### **1.11.6.8.2 CAUDAL QUE INGRESA A CADA ORIFICIO ( $Q_o$ )**

El caudal que ingresa cada orificio está dado por:

$$Q_o = A_o v_o$$

**(Ecuación 1.56)**

Donde:

$A_o$ : Área de cada orificio, ( $m^2$ )

$v_o$ : Velocidad en orificio, (m/s) (Tabla 1.20.)

$Q_o$ : Caudal que ingresa cada orificio, ( $m^3/s$ )

### 1.11.6.8.3 NÚMERO DE LATERALES ( $N_L$ )

El número de laterales está dado por:

$$N_L = 2 \frac{a_f}{e_L}$$

(Ecuación 1.57)

Donde:

$a_f$ : Ancho del filtro, (m)

$e_L$ : Separación entre laterales, (m) (Tabla 1.20.)

$N_L$ : Número de laterales, (adimensional)

### 1.11.6.9 DIÁMETROS DE LAS TUBERÍA DEL FILTRO

#### 1.11.6.9.1 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE ENTRADA AL FILTRO ( $D_T$ )

La tubería de entrada al filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_T = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

(Ecuación 1.58)

Donde:

$Q$ : Caudal de diseño, ( $m^3/s$ )

$v_e$ : Velocidad de agua a través de la tubería de entrada, (m/s) (Tabla 1.21.)

$D_T$ : Diámetro de la tubería de entrada del agua al filtro, (m)

#### **1.11.6.9.2 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE SALIDA DEL FILTRO ( $D_{Ts}$ )**

La tubería de salida del filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

**(Ecuación 1.59)**

Donde:

Q: Caudal de diseño, ( $m^3/s$ )

$v_s$ : Velocidad de agua a través de la tubería de salida, (m/s) (Tabla 1.21.)

$D_{Ts}$ : Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro, (m)

#### **1.11.6.10 SISTEMA DE LAVADO DEL FILTRO**

Los filtros se lavan para restablecer su capacidad cuando la calidad del efluente se degrada. El lavado ocurre a contracorriente con un caudal suficiente para expandir los granos del medio formando una suspensión. El material retenido es transportado por el agua a través del lecho expandido hasta ser descargado al desagüe.

##### **1.11.6.10.1 VELOCIDAD ÓPTIMA DE LAVADO DEL FILTRO ( $v_l$ )**

Para el cálculo de la velocidad óptima de lavado, se utiliza la siguiente expresión:

$$v_l = D_{60} = CU * TE$$

**(Ecuación 1.60)**

Donde:

$D_{60}$ : Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad, o percentil 60 del análisis granulométrico, (mm)

CU: Coeficiente de uniformidad de la arena, (adimensional) (Tabla 1.19.)

TE: Tamaño efectivo de la arena, (mm) (Tabla 1.19.)

$v_l$ : Velocidad óptima de lavado del filtro, (m/min)

#### 1.11.6.10.2 CANTIDAD DE AGUA PARA EL LAVADO DEL FILTRO ( $V_l$ )

El volumen de agua requerido para el lavado se obtiene de:

$$V_l = v_l A_f t_l$$

(Ecuación 1.61)

Donde:

$v_l$ : Velocidad óptima de lavado del filtro, (m/min)

$A_f$ : Área del filtro, ( $m^2$ )

$t_l$ : Tiempo óptimo de lavado, (min) (Tabla 1.19.)

$V_l$ : Cantidad de agua para el lavado del filtro, ( $m^3$ )

#### 1.11.6.11 CONSIDERACIONES ADICIONALES

Tabla 1. 19 Parámetros de Diseño de Filtros rápidos de Arena

Parámetro	Valor
Tasa de filtración ( $t_f$ )	120 m/d.
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho ( $C_a$ )	1 - 1,5 m
Profundidad del medio o altura del lecho filtrante ( $L_a$ )	0,60 – 0,8 m
Profundidad de grava o altura de la capa de soporte, grava ( $C_s$ )	0,30 – 0,45 m
Tamaño efectivo del medio (TE)	0,35 – 0,70 mm (valor típico 0,5 mm)
Coefficiente de uniformidad (CU)	1,3 – 1,7 (valor típico 1,5)



Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje ( $F_c$ )	0,10 - 0,25 m
Tiempo óptimo de lavado del filtro ( $t_l$ )	10 min
Factor de seguridad ( $f_s$ )	10%

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

**Tabla 1. 20 Parámetros de Diseño de laterales**

Parámetro	Valor
Separación de los laterales ( $e_L$ )	1 – 2,0 m
Diámetro de los orificios de los laterales ( $D_o$ )	6,5 – 15,8 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	7,5 - 25 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en cada orificio ( $v_o$ )	3-5 m/s

**Fuente:** Vigneswaran, S. y C. Visvanathan. 1995

**Tabla 1. 21 Velocidades de Diseño para tuberías del filtro**

Parámetro	Velocidad m/s
Afluente ( $v_e$ )	0,3 - 12
Efluente ( $v_s$ )	0,9 – 1,8

**Fuente:** ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

### 1.11.7 DESINFECCIÓN

Finalmente la desinfección es la última etapa de tratamiento en todo proceso de potabilización del agua, aquí es donde se elimina todos los microorganismos patógenos para la salud y se garantiza el cumplimiento de todos los requerimientos para que el agua sea considerada óptima para el consumo humano.

#### 1.11.7.1 PESO DE CLORO NECESARIO ( $P_{Cl}$ )

El peso de cloro necesario para tratar el agua viene dado por la ecuación:

$$P_{Cl} = \frac{Q D 86400}{1000}$$

(Ecuación 1.62)

Donde:

Q: Caudal de diseño, ( $m^3/s$ )

D: Dosis de cloro necesario, (mg/L) (Tabla 1.22.)

$P_{Cl}$ : Peso de cloro necesario, (Kg/d)

#### 1.11.7.2 VOLUMEN DEL HIPOCLORADOR ( $V_H$ )

El volumen del hipoclorador puede determinarse por:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

(Ecuación 1.63)

Donde:

$P_{Cl}$ : Peso de cloro necesario, (Kg/d)

C: Concentración de la solución

$V_H$ : Volumen del hipoclorador, ( $m^3$ )

### **1.11.7.3 TANQUE DE DESINFECCIÓN PARA LA MEZCLA DE CLORO**

Se diseñará un tanque para el contacto del agua con el cloro a su vez será utilizado como tanque de almacenamiento.

#### **1.11.7.3.1 VOLUMEN DEL TANQUE DE DESINFECCIÓN PARA LA MEZCLA DE CLORO ( $V_{Tc}$ )**

El volumen o capacidad del tanque de contacto para la mezcla de cloro puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$V_{Tc} = Q t_{or} f_s$$

**(Ecuación 1.64)**

Donde:

Q: Caudal de diseño, ( $m^3/s$ )

$t_{or}$ : Tiempo óptimo de retención, (s) (Tabla 1.23.)

$f_s$ : Factor de seguridad, (adimensional) (Tabla 1.23.)

$V_{Tc}$ : Volumen del tanque para la mezcla de cloro, ( $m^3$ )

#### **1.11.7.3.2 ALTURA DEL TANQUE DE DESINFECCIÓN PARA LA MEZCLA DE CLORO**

La altura del tanque para la mezcla de cloro será:

$$H_{Tc} = \frac{V_{Tc}}{A_{Tc}}$$

**(Ecuación 1.65)**

Donde:

$V_{Tc}$ : Volumen del tanque para la mezcla de cloro, ( $m^3$ )

$A_{Tc}$ : Área del tanque para la mezcla de cloro, ( $m^2$ ) (Tabla 1.23.)

$H_{Tc}$ : Altura del tanque para la mezcla de cloro, (m)

#### 1.11.7.4 CONSIDERACIONES ADICIONALES

**Tabla 1. 22 Demanda de Cloro para Aguas**

Aguas Claras	0,3 mg/L
Aguas Turbias	1,5 mg/L
Concentración de Cloro, $C_{Cl}$	5%

**Fuente:** Muñoz M. Balarezo A.

**Tabla 1. 23 Parámetros de diseño para tanques**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área de base cuadrada, $A_{Tc}$	3	$m^2$
Ancho del tanque, $B_{Tc}$	2	m
Longitud del tanque, $L_{Tc}$	1,5	m
Factor de seguridad, fs	10	%
Tiempo óptimo de retención, $t_{or}$	30	min

**Fuente:** <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08f.pdf>

# **CAPÍTULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## **CAPÍTULO II**

### **2 PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1 DIAGNOSTICO**

El agua de consumo para las comunidades en estudio es abastecido por agua que proviene de las vertientes de los Páramos del Igualata, la misma no cuenta con un sistema de potabilización.

La determinación del estado actual del agua se basó en la caracterización física, química y microbiológica en la captación de la misma, la caracterización se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencia, de esta manera se llegó a conocer el estado actual del agua de consumo y en base a ello se determinaron las etapas y procesos necesarios con los que debe contar el sistema de tratamiento para lograr potabilizarla.

#### **2.2 MUESTREO**

##### **2.2.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño del sistema de tratamiento de agua potable se realizó en las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia San Isidro de Patulú, cantón Guano, provincia de Chimborazo, ubicado en la Sierra Central del Ecuador.

En las mencionadas comunidades al momento no disponen de agua potable pero existe la disponibilidad del servicio de agua entubada mismo que sirve para el consumo humano y uso doméstico, como también para regadío en los terrenos.

##### **2.2.2 MÉTODO DE RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Cada uno de los datos obtenidos en la ejecución del estudio, se los registró en cuadros diferentes de acuerdo al día que se realizó la toma de muestras de agua en su estado crudo es decir en el tanque de captación, el mismo que abastece a las 3 comunidades.

De esta manera se simplificó el diagnóstico comparativo de los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos que se llevaron a cabo en cada muestra.

### 2.2.3 PLAN DE MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Para tomar las respectivas muestras de agua en el tanque de captación se llevó a cabo un muestreo manual, se tomaron 4 muestras para los análisis físicos, químicos y 3 muestras de agua para los análisis microbiológicos.

Se tomaron muestras simples teniendo en cuenta que es necesario que el tamaño y/o cantidad de la muestra sea la adecuada, además se transportó hacia el sitio de análisis (en este caso el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias), con el mayor de los cuidados con el objeto de que no se altere su composición y que los resultados no se vean afectados.

**Figura 2. 1 Recolección de Muestras**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

## 2.3 METODOLOGÍA

### 2.3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las técnicas empleadas al momento de tomar las muestras fueron sumamente importantes para de esta manera garantizar la calidad del agua que se analizó posteriormente en el laboratorio, por ello se siguieron los siguientes pasos:

- a. Los envases que se utilizaron para la toma de muestras fueron los siguientes: para los análisis físicos y químicos fueron envases de plástico mientras que para los análisis microbiológicos se emplearon recipientes completamente esterilizados.
- b. En el caso de los primeros fueron lavados con detergente, agua caliente y por último con agua destilada. Mientras que los segundos fueron desenfundados segundos antes de la toma de la muestra.
- c. Al momento de tomar la muestra lo primero que se realizó fue la homogenización completa del envase, llenando y vaciando el mismo con agua cruda por lo menos 2 veces.

**Figura 2. 2 Técnicas de Recolección de Muestras**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.



- d. El envase con la muestra de agua para los análisis físicos y químicos fue llenado en su totalidad, mientras la muestra para los análisis microbiológicos se llenó hasta la mitad ya que de esta manera se puede mezclar la muestra antes del análisis y evitar contaminación accidental.
- e. Sólo deben abrirse los envases al momento de tomar la muestra e inmediatamente cerrarlos para evitar cualquier tipo de contaminante, con mayor razón cuando el tanque de captación se encuentra al aire libre.

**Figura 2. 3 Técnicas de Recolección de muestras en la Captación**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

- f. Las muestras fueron transportadas en un cooler o caja térmica debidamente acondicionada, donde se las preservó hasta el momento de realizar los análisis respectivos, el mismo se realizó una hora luego de la toma de las muestras en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias.

**Figura 2. 4 Conservación de Muestras**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### **2.3.2 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

Los análisis físicos y químicos para la caracterización del agua, se los realizó en su totalidad en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, de acuerdo a un cronograma realizado con la Dra. Gina Álvarez, responsable del laboratorio, en base a la disponibilidad del mismo. Mientras que los Análisis Microbiológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

En total para la caracterización del agua se tomó cuatro muestras del tanque .de captación durante un mes, es decir, una muestra semanal y se analizaron los siguientes 21 parámetros que se detallan a continuación:

**Tabla 2. 1 Parámetros de Caracterización del Agua de Captación**

#	PARÁMETRO	UNIDADES	<b>LÍMITES:</b> <b>-Norma Técnica</b> <b>Ecuatoriana NTE INEN</b> <b>1108:2011. Cuarta</b> <b>Revisión. Agua Potable.</b> <b>Requisitos.</b> <b>-Valores Máximos</b> <b>Aceptables para el Agua</b> <b>Potable-OMS (1992).</b>
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>			
1	pH	---	6,5 – 8,5
2	Color	Unid. (Pt-Co)	15
3	Turbiedad	NTU	5
4	Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<1250
5	Sólidos Totales	mg/l	1000
6	Sólidos Disueltos	mg/l	500
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>			
7	Dureza	mg/l	300
8	Calcio	mg/l	70
9	Magnesio	mg/l	30-50
10	Alcalinidad	mg/l	250-300
11	Cloruros	mg/l	250
12	Sulfatos	mg/l	200
13	Amonios	mg/l	<0,50

14	Nitritos	mg/l	0,2
15	Nitratos	mg/l	50
16	Hierro	mg/l	0,30
17	Fosfatos	mg/l	<0,30
18	Fluoruros	mg/l	1,5
<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>			
19	Coliformes Totales	UFC / 100 ml	<1
20	Coliformes Fecales	UFC / 100 ml	<1

**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos. Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).

### 2.3.3 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Los equipos, materiales y reactivos que se emplearon en la realización de cada uno de los análisis tanto físicos, químicos como microbiológicos del agua de captación fueron proporcionados por el laboratorio y son los siguientes:

**Tabla 2. 2 Equipos, Materiales y Reactivos**

<b>EQUIPOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>
Espectrofotómetro HACH	Balones Aforados	Agua
pH-metro	Vasos de Precipitación	Agua Destilada
Colorímetro	Pipetas	Solución Buffer
Equipo de Filtración al vacío	Pipetas Volumétricas	Solución EDTA
Turbidímetro HACH	Probetas	Ácido Sulfúrico
Conductímetro	Pizeta	Cianuro de Potasio
Desecador	Termómetro	Nitrato de Plata
Baño María	Buretas	Hidróxido de Sodio
Estufa	Membranas de Filtración	Dicromato de Potasio
Balanza Analítica	Erlenmeyer	Solución Nessler
Equipo de Filtración al vacío	Pera de succión	Muróxida
Reverbero	Pinzas	Naranja de Metilo
	Varilla de agitación	Negro de Eriocromo
	Espátula	Fenolftaleína
	Tubos de ensayo	Reactivos para el espectrofotómetro HACH (sulfatos, amonios, nitritos, nitratos, fluoruros, hierro, fosfatos).
	Cápsulas	
	Vidrio Reloj	
	Mangueras	

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

## 2.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS

### 2.4.1 MÉTODOS

Cada uno de los métodos empleados para los análisis físicos, químicos y microbiológicos que se desarrollaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2. 3 Métodos de Análisis**

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>MÉTODO DE ANÁLISIS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
pH	Potenciométrico	Se emplea el pH-metro y se hace uso del electrodo de cristal.
Color	Comparativo-Colorimétrico	Comparación del color de la muestra con agua destilada y lectura en el colorímetro.
Turbiedad	Nefelométrico	Utilizar el turbidímetro para el análisis. A través de la celda de cristal del equipo, se ajusta el rango de lectura, se lee y registra el valor.
Conductividad	Electrométrico	Utilizar el conductímetro para el análisis. Esperar hasta que el valor de la conductividad permanezca estable, registrar el valor.
Sólidos Totales	Gravimétrico	Se realiza mediante la diferencia de pesos de una caja petri, registrando los pesos de la misma vacía y luego con muestra de agua evaporada.

Sólidos Disueltos	Electrométrico	Se usa un electrodo de cristal adecuando la lectura correspondiente
Dureza	Volumétrico	Añadir a la muestra el buffer junto con el indicador y valorar mediante titulación.
Calcio		
Magnesio		
Alcalinidad		
Cloruros		
Sulfatos	Espectrofotométrico	Colocar los reactivos respectivos para cada determinación y leer en el espectrofotómetro HACH, tener en cuenta que siempre antes de realizar la lectura se debe encerrar el equipo mediante un blanco.
Amonios		
Nitritos		
Nitratos		
Hierro		
Fosfatos		
Fluoruros		
Coliformes Totales	Sembrado	Esterilizar el equipo, sembrar y leer a 24 h contando las colonias formadas.
Coliformes Fecales		

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias

## 2.4.2 TÉCNICAS

Los análisis que se efectuaron corresponden a las técnicas indicadas en los Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Aguas Residuales: “STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER”; 20 TH EDITION DE LA AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), además del Manual de Análisis de Agua, métodos HACH. Proporcionados por el mismo equipo. Las técnicas empleadas para los 20 análisis realizados son:

### 2.4.2.1 Potencial de Hidrógeno pH

Tabla 2. 4 Técnica para determinar el pH

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<p>d) pH-metro</p> <p>e) Vasos de precipitación de 250 mL.</p> <p>f) Solución Buffer de pH 4, pH 7, pH 10.</p> <p>g) Muestra de agua</p> <p>h) Agua Destilada</p>	<p>-Poner agua destilada en el vaso de precipitación y enjuagar los electrodos</p> <p>-Calibrar el pH-metro utilizando las soluciones Buffer en el siguiente orden (4, 7, 10).</p> <p>-Colocar la muestra de agua en otro vaso de precipitación, luego introducir el electrodo en la misma.</p> <p>-Esperar unos minutos hasta que se estabilice el valor y realizar la lectura correspondiente.</p>	<p>-Lectura directa.</p>

**Fuente:** STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDAR METHODS\* 4500 - H



### 2.4.2.2 Color

**Tabla 2. 5 Técnica para determinar el color**

<b>EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULO A REALIZAR</b>
<b>i)</b> Colorímetro HACH <b>j)</b> Celdas <b>k)</b> Vaso de precipitación de 100 mL. <b>l)</b> Muestra de agua <b>m)</b> Agua Destilada	<p>-Colocar la muestra de agua en el vaso de precipitación.</p> <p>-Trasladar la muestra a las celdas respectivas y agitarla vigorosamente.</p> <p>-Poner en cero el colorímetro con una celda con agua destilada y luego colocar la celda con la muestra de agua problema.</p> <p>-Realizar la lectura correspondiente, el valor viene dado en UTC (unidades de color verdadero)</p>	-Lectura directa.

**Fuente:** HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

### 2.4.2.3 Turbiedad

**Tabla 2. 6 Técnica para determinar la turbiedad**

<b>EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULO A REALIZAR</b>
<p><b>n)</b> Turbidímetro HACH</p> <p><b>o)</b> Celda</p> <p><b>p)</b> Tela especial para limpieza</p> <p><b>q)</b> Muestra de agua</p>	<p>-Limpiar la celda donde se va a realizar la lectura con la tela especial, de esta manera se evitará cualquier tipo de error.</p> <p>-Colocar la muestra de agua y agitar vigorosamente para una correcta homogenización de la misma.</p> <p>-Introducir la celda en el turbidímetro y esperar unos segundos hasta que se estabilice el valor de turbiedad.</p> <p>-Leer en la escala correspondiente el valor de la turbiedad, el mismo vendrá dado en UNT.</p>	<p>-Lectura directa en el turbidímetro HACH.</p>

**Fuente:** STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDAR METHODS \* 2130 B

#### 2.4.2.4 Conductividad

Tabla 2. 7 Técnica para determinar la conductividad

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductímetro HACH</li> <li>• Vaso de Precipitación de 250 mL.</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua Destilada</li> </ul>	<p>-Lavar el sensor del conductímetro con agua destilada y secarlo.</p> <p>-Colocar 250 mL de muestra en un vaso de precipitación.</p> <p>-Sumergir el sensor de conductividad en el vaso que contiene la muestra.</p> <p>-Dejar que el valor de conductividad se estabilice y luego realizar la respectiva lectura.</p> <p>-El valor que proporciona el equipo viene dado en <math>\mu\text{Siems/cm}</math>.</p>	<p>- Lectura directa en el conductímetro HACH.</p>

**Fuente:** STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDAR METHODS \* 2510

### 2.4.2.5 Sólidos Totales

Tabla 2. 8 Técnica para determinar los sólidos totales

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vasos de precipitación de 250 mL.</li> <li>Caja Petri</li> <li>Estufa</li> <li>Baño María</li> <li>Desecador</li> <li>Balanza Analítica</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>	<p>-Coger una caja petri y colocarla en el desecador por 30 minutos.</p> <p>-Pesar la caja petri en la balanza analítica. Se tiene el valor de <math>P_1</math>. Colocar 25 mL. de muestra de agua en la caja petri. Se tiene el <math>V</math> muestra. Someterla a baño María hasta que se evapore.</p> <p>-Introducir en la estufa hasta que se evapore completamente, luego ponerla en el desecador por unos 15 minutos aproximadamente. Se tiene el valor de <math>P_2</math>.</p> <p>-Pesar y registrar el valor de la caja petri con la muestra evaporada y deshidratada.</p>	$ST = \frac{P_2 - P_1}{V \text{ muestra}}$

Fuente: STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDARD METHODS \*2540

#### 2.4.2.6 Sólidos Disueltos

Tabla 2. 9 Técnica para determinar los sólidos disueltos

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>Electrodo sensible HACH</li> <li>Vaso de precipitación de 250 mL.</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>	-Colocar 100 mL de muestra de agua en el vaso de precipitación de 250 mL. -Leer directamente el valor de sólidos disueltos en el electrodo HACH.	-Lectura directa.

Fuente: **HACH MODEL Series. METODO HACH**

#### 2.4.2.7 Dureza

Tabla 2. 10 Técnica para determinar la dureza

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pipetas de 1 y 10 mL.</li> <li>Pera de succión</li> <li>Bureta</li> <li>Erlenmeyer</li> <li>Titulante EDTA</li> <li>Cianuro de Potasio</li> <li>Negro de eriocromo T</li> <li>Solución buffer para dureza</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>	-Tomar 25 mL de muestra en un erlenmeyer de 1000 mL. -Agregar 2 mL de solución buffer de dureza. -Añadir 1 mL de cianuro de potasio. Poner pequeñas cantidades del indicador de negro de eriocromo T, hasta que adopte un color rojizo. -Titular con EDTA hasta que el cambio a un color azul.	-Multiplicar el valor obtenido de la titulación por el valor de conversión a ppm que es igual a 20.

Fuente: STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDARD METHODS \*2340 B Y C

### 2.4.2.8 Calcio

Tabla 2. 11 Técnica para determinar el calcio

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipetas de 1, 5, 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Bureta</li> <li>• Erlenmeyer</li> <li>• Titulante EDTA</li> <li>• Cianuro de Potasio</li> <li>• Hidróxido de Sodio 1N</li> <li>• Muréxida</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>	<p>-Tomar 25 mL de muestra en un erlenmeyer de 1000 mL.</p> <p>-Añadir 1 mL de cianuro de potasio.</p> <p>-Agregar 2 mL de Hidróxido de sodio 1N.</p> <p>-Poner pequeñas cantidades de muréxida, hasta que adopte un color rosado.</p> <p>-Titular con EDTA hasta que se dé el cambio a un color lila.</p>	<p>-Multiplicar por el factor de conversión correspondiente.</p>

**Fuente:** STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDAR METHODS\* 3500 Ca

### 2.4.2.9 Magnesio

Tabla 2. 12 Técnica para determinar el magnesio

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los equipos, materiales y reactivos empleados en las determinaciones de dureza y de calcio.</li> </ul>	-Calcular la concentración de magnesio a partir de los valores obtenidos en las determinaciones tanto de dureza como de calcio.	-El magnesio puede estimarse como la diferencia entre la dureza y el calcio que se encuentran presentes en el agua.  $Mg = \text{dureza} - Ca$

Fuente: STANDAR METHODS, 2550 Edición 17.

### 2.4.2.10 Alcalinidad

Tabla 2. 13 Técnica para determinar la alcalinidad

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pipetas de 1, 5, 10 mL.</li> <li>Pera de succión</li> <li>Bureta</li> <li>Erlenmeyer</li> <li>Naranja de Metilo</li> <li>Ácido Sulfúrico 0,02 N</li> </ul>	-Tomar 25 mL de muestra en un erlenmeyer de 1000 mL. -Agregar 4 gotas de naranja de metilo. -Titular con Ácido Sulfúrico 0,02 hasta que se dé el cambio de color.	-Multiplicar el valor obtenido de la titulación por el valor del factor que en el caso de la alcalinidad es de 20.

Fuente: STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDARD METHODS \*2320 B

### 2.4.2.11 Cloruros

Tabla 2. 14 Técnica para determinar los cloruros

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipetas de 1, 5, 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Bureta</li> <li>• Erlenmeyer</li> <li>• Dicromato de potasio</li> <li>• Nitrato de Plata</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>	<p>-Tomar 25 mL de muestra en un erlenmeyer de 1000 mL.</p> <p>-Agregar unas gotas del indicador dicromato de potasio hasta que tome una coloración amarilla.</p> <p>-Titular con nitrato de plata hasta que se dé el cambio de color a un rosado intenso.</p>	<p>-Multiplicar el valor obtenido de la titulación por el valor del factor de dilución para cloruros que es 0,5, de esta manera se obtiene el resultado en ppm.</p>

**Fuente:** STANDAR METHODS, 2550 Edición 17. STANDAR METHODS\* 4500 Cl – B



## 2.4.2.12 Sulfatos

**Tabla 2. 15 Técnica para determinar los sulfatos**

<b>EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULO A REALIZAR</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• 2 Erlenmeyer</li> <li>• Reactivo Sulfaver 4.</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Programar el espectrofotómetro HACH mediante el código 680 para sulfatos.</p> <p>-En 2 erlenmeyer medir y colocar: 10 mL de muestra de agua sin nada más en el primero (blanco) y 10 mL de muestra de agua con el reactivo sulfaver 4 en el segundo (muestra a analizar).</p> <p>-Colocamos tanto el blanco como la muestra a analizar en las celdas de análisis. Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos el mismo.</p> <p>-Luego se pone la celda a analizar en el espectrofotómetro HACH y se realiza la lectura correspondiente a sulfatos presentes en la muestra analizada.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

**Fuente:** HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

### 2.4.2.13 Amonios

Tabla 2. 16 Técnica para determinar los amonios

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• 2 Erlenmeyer</li> <li>• Reactivo para Amonios.</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Programar el espectrofotómetro HACH mediante el código 380 para amonios o nitrógeno amoniacal.</p> <p>-En 2 erlenmeyer medir y colocar: 10 mL de muestra de agua sin nada más en el primero (blanco) y 10 mL de muestra de agua con el reactivo para amonios en el segundo (muestra a analizar).</p> <p>-Colocamos tanto el blanco como la muestra a analizar en las celdas de análisis.</p> <p>-Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos el mismo.</p> <p>-Luego se pone la celda a analizar en el espectrofotómetro HACH y se realiza la lectura correspondiente a amonios o nitrógeno amoniacal presente en la muestra de agua.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

Fuente: HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

#### 2.4.2.14 Nitritos

Tabla 2. 17 Técnica para determinar los nitritos

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Reactivo Nitriver 3 para nitritos</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Programar el espectrofotómetro HACH mediante el código 371 para nitritos.</p> <p>-En 2 erlenmeyer medir y colocar: 10 mL de muestra de agua sin nada más en el primero (blanco) y 10 mL de muestra de agua con el reactivo Nitriver 3 para nitritos en el segundo (muestra a analizar).</p> <p>-Colocamos tanto el blanco como la muestra a analizar en las celdas de análisis.</p> <p>-Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos el mismo.</p> <p>-Luego se pone la celda a analizar en el espectrofotómetro HACH y se realiza la lectura correspondiente a los nitritos presentes en la muestra a analizar.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

Fuente: HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

### 2.4.2.15 Nitratos

**Tabla 2. 18 Técnica para determinar los nitratos**

<b>EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULO A REALIZAR</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Reactivo Nitraver 5 para nitratos</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Programar el espectrofotómetro HACH mediante el código 353 para nitratos.</p> <p>-En 2 erlenmeyer medir y colocar: 10 mL de muestra de agua sin nada más en el primero (blanco) y 10 mL de muestra de agua con el reactivo Nitraver 5 para nitratos en el segundo (muestra a analizar).</p> <p>-Colocamos tanto el blanco como la muestra a analizar en las celdas de análisis.</p> <p>-Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos el mismo.</p> <p>-Luego se pone la celda a analizar en el espectrofotómetro HACH y se realiza la lectura correspondiente a los nitratos presentes en la muestra analizada.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

**Fuente:** HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

### 2.4.2.16 Hierro

Tabla 2. 19 Técnica para determinar el hierro

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• 2 erlenmeyer</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Reactivo FerroverIron</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Programar el espectrofotómetro HACH mediante el código 290 para hierro.</p> <p>-En 2 erlenmeyer medir y colocar: 10 mL de muestra de agua sin nada más en el primero (blanco) y 10 mL de muestra de agua con el reactivo FerroverIron para hierro en el segundo (muestra a analizar).</p> <p>-Colocamos tanto el blanco como la muestra a analizar en las celdas de análisis.</p> <p>-Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos el mismo.</p> <p>-Luego se pone la celda a analizar en el espectrofotómetro HACH y se realiza la lectura correspondiente al hierro en la muestra analizada.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

Fuente: HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

### 2.4.2.17 Fosfatos

**Tabla 2. 20 Técnica para determinar los fosfatos**

<b>EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLCULO A REALIZAR</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Reactivo PhosVer para fosfatos</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Medir y colocar 10 mL de agua destilada en la primera celda (blanco).</p> <p>-Medir y colocar 10 mL de la muestra de agua en la segunda celda (muestra a analizar)</p> <p>-Agregar el reactivo Phosver para fosfatos en la celda con la muestra a analizar y realizar una agitación.</p> <p>.</p> <p>-Colocar en el espectrofotómetro HACH primero la celda con el blanco y posteriormente la celda con la muestra a analizar.</p> <p>-Realizar la lectura respectiva.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

**Fuente:** HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

#### 2.4.2.18 Fluoruros

Tabla 2. 21 Técnica para determinar los fluoruros

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro HACH.</li> <li>• 2 celdas de análisis en el espectrofotómetro HACH</li> <li>• Pipeta de 10 mL.</li> <li>• Pera de succión</li> <li>• Reactivo para flúor (Reactivo SPANDS)</li> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>-Medir y colocar 10 mL de agua destilada en la primera celda (blanco).</p> <p>-Medir y colocar 10 mL de la muestra de agua en la segunda celda (muestra a analizar)</p> <p>-Agregar el reactivo para flúor (Reactivo SPANDS) en la celda con la muestra a analizar y realizar una agitación.</p> <p>-Programar el espectrofotómetro HACH para realizar la lectura del flúor.</p> <p>-Colocar primero la celda con el blanco y posteriormente la celda con la muestra a analizar.</p> <p>-Realizar la lectura respectiva.</p>	<p>-Lectura directa en el Espectrofotómetro HACH.</p>

**Fuente:** HACH MODEL DR/4000 V. METODO HACH

### 2.4.2.19 Coliformes Totales y Fecales

Tabla 2. 22 Técnica para determinar las coliformes totales y coliformes fecales

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO A REALIZAR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de agua</li> <li>• Agua Peptonada al 0,1%</li> <li>• Placas estériles</li> <li>• Equipo de filtración</li> <li>• Membranas filtrantes estériles.</li> <li>• Bombas de vacío</li> <li>• Pinzas estériles</li> <li>• Estufa</li> </ul>	<p>–Colocar una membrana filtrante estéril, bajo condiciones asépticas, sobre el centro del portafiltro, usando pinzas estériles, con la superficie cuadriculada hacia arriba.</p> <p>–Ensamblar el equipo, colocando el dispositivo de filtración y asegurando con una pinza.</p> <p>–Colocar 100 ml de la muestra de agua, en el portafiltro y proceder a filtrar. Lavar el embudo con aproximadamente 100 ml de agua peptonada al 0,1%.</p> <p>–Al colocar la membrana, evitar la formación de burbujas entre ésta y el medio de cultivo.</p> <p>–Esperar aproximadamente 20 minutos, para permitir la adhesión de la membrana al medio.</p> <p>–Incubar las placas en forma invertida, a las diferentes temperaturas y tiempos, de acuerdo al microorganismo investigado; en este caso para la determinación de Coliformes se debe incubar a <math>35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math> en un tiempo de 24 a 48 h.</p>	<p>-Contar las colonias en las membranas.</p> <p>Expresar los resultados como unidades formadoras de colonias (UFC) por ml o por 100 ml de agua, considerando el volumen filtrado y el factor de dilución.</p>

Fuente: STANDAR METHODS, 2550 Edición 17



## **2.5 DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.5.1 SITUACIÓN INICIAL – CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE CAPTACIÓN**

En la actualidad el agua de consumo de las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia San Isidro de Patulú es abastecido por agua que proviene de las vertientes de los Páramos del Igualata, la misma no cuenta con un sistema de potabilización, pero existe la disponibilidad del servicio de agua entubada.

Por lo tanto el presente proyecto se inició realizando la caracterización de la misma, utilizando un muestreo manual de muestras simples, efectuando análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua de captación los días 27 de marzo, 2, 4 y 9 de abril del 2014 en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. 23 Análisis Físico, Químico del Agua de Captación

#	PARÁMETRO	UNIDADES	Límite Máximo permisible:  -NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos.  -Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).	MUESTRAS				PROMEDIO
				1	2	3	4	
PARÁMETROS FÍSICOS								
1	pH	---	6,5 – 8,5	6,73	6,67	6,86	6,89	6,79
2	Color	Unid. (Pt-Co)	15	200	260	160	170	198
3	Turbiedad	NTU	5	18,3	21,6	17,9	21,3	19,8
4	Conductividad	<i>μs/cm</i>	<1250	151	138	152	144	146
5	Sólidos Totales	mg/l	1000	204	248	244	240	234
6	Sólidos Disueltos	mg/l	500	93,6	85,6	94,2	89,3	90,7

PARÁMETROS QUÍMICOS								
7	Dureza	mg/l	300	48,0	56,0	68,0	64,0	59,0
8	Calcio	mg/l	70	11,2	12,8	11,2	12,8	12,0
9	Magnesio	mg/l	30-50	4,9	5,8	9,7	7,8	7,1
10	Alcalinidad	mg/l	250-300	100	100	90	90	95
11	Cloruros	mg/l	250	11,3	11,3	10,6	9,2	10,6
12	Sulfatos	mg/l	200	8,5	9,0	8,0	10,0	8,9
13	Amonios	mg/l	<0,50	0,108	0,310	0,110	0,120	0,162
14	Nitritos	mg/l	0,2	0	0	0	0	0
15	Nitratos	mg/l	50	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
16	Hierro	mg/l	0,30	2,436	3,360	2,490	3,010	2,824
17	Fosfatos	mg/l	<0,30	0,222	0,150	0,290	0,150	0,203
18	Fluoruros	mg/l	1,5	0,8	0,6	0,4	0,7	0,63

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias

Mientras los análisis microbiológicos del agua se llevaron a cabo los días 27 de marzo, 4 y 9 de abril del 2014 en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Los resultados de los análisis microbiológicos se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2. 24 Análisis Microbiológico del Agua de Captación**

#	PARÁMETRO	UNIDADES	Límite Máximo permisible: NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos.	MUESTRAS			PRO-MEDIO
				1	2	3	
1	Coliformes Totales	UFC/100 ml	<1	8	9	7	8
2	Coliformes Fecales	UFC/100 ml	<1	3	4	2	3

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo

## 2.5.2 PARÁMETROS DE NO CUMPLIMIENTO DE LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011. CUARTA REVISIÓN. AGUA POTABLE. REQUISITOS.

### 2.5.2.1 Parámetros Físicos y Químicos

Se determinaron un total de 3 parámetros físicos y químicos que se encuentran fuera de norma estos son: color, turbiedad y hierro los mismos se detallan en la siguiente tabla:

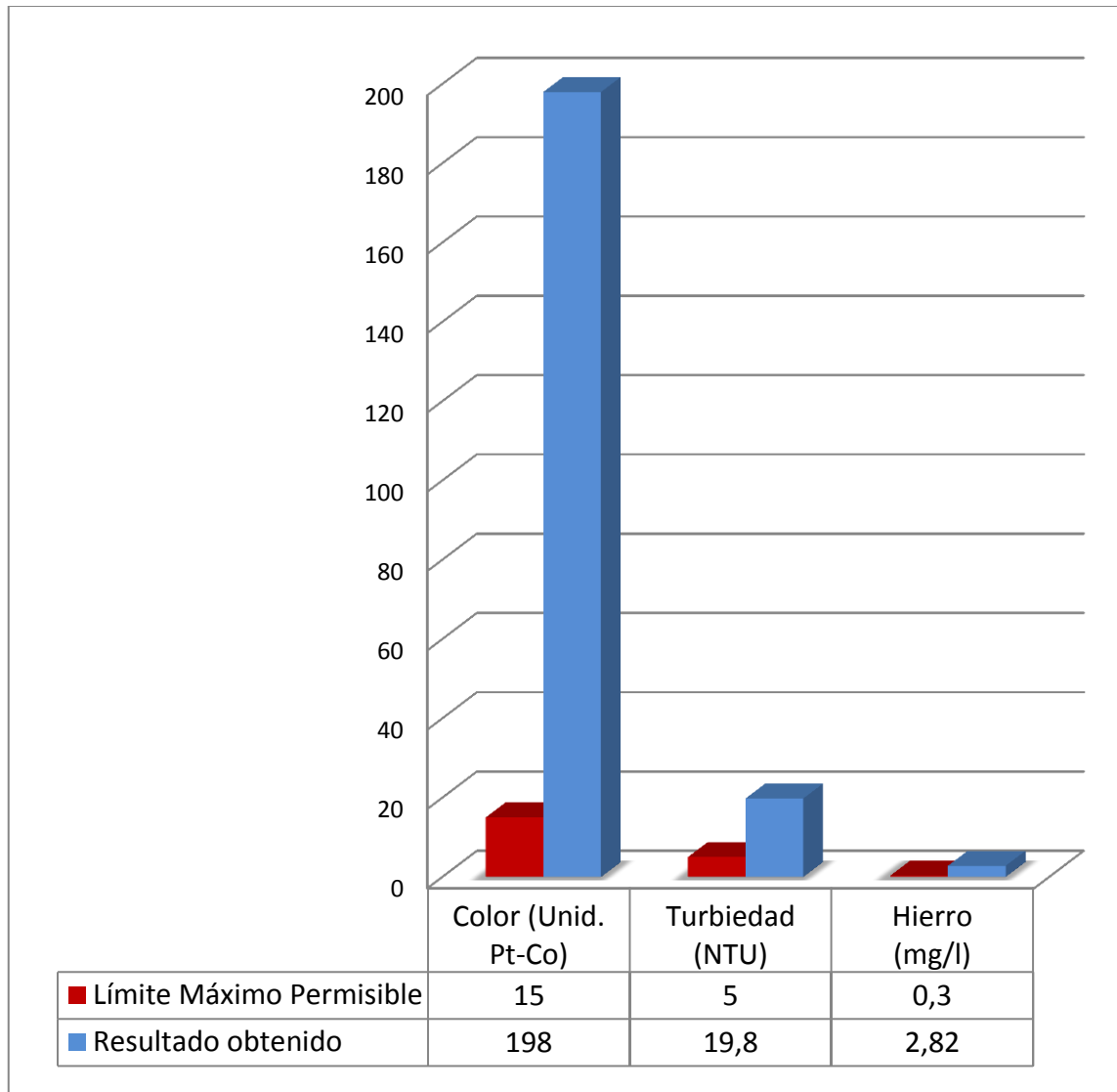
**Tabla 2. 25 Parámetros Físicos y Químicos fuera de Norma**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: NTE INEN 1108:2011. CUARTA REVISIÓN. AGUA POTABLE. REQUISITOS.</b>	<b>RESULTADO OBTENIDO</b>
1) Color	Unid. (Pt-Co)	15	198
2) Turbiedad	NTU	5	19,8
3) Hierro	mg/l	0,3	2,824

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

Se puede apreciar de una manera más clara en el siguiente gráfico:

**Gráfico 2. 1 Parámetros Físicos y Químicos fuera de Norma**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### 2.5.2.2 Parámetros Microbiológicos

Se determinó que tanto las coliformes totales como las coliformes fecales se encuentran fuera de norma y se detallan en la siguiente tabla:

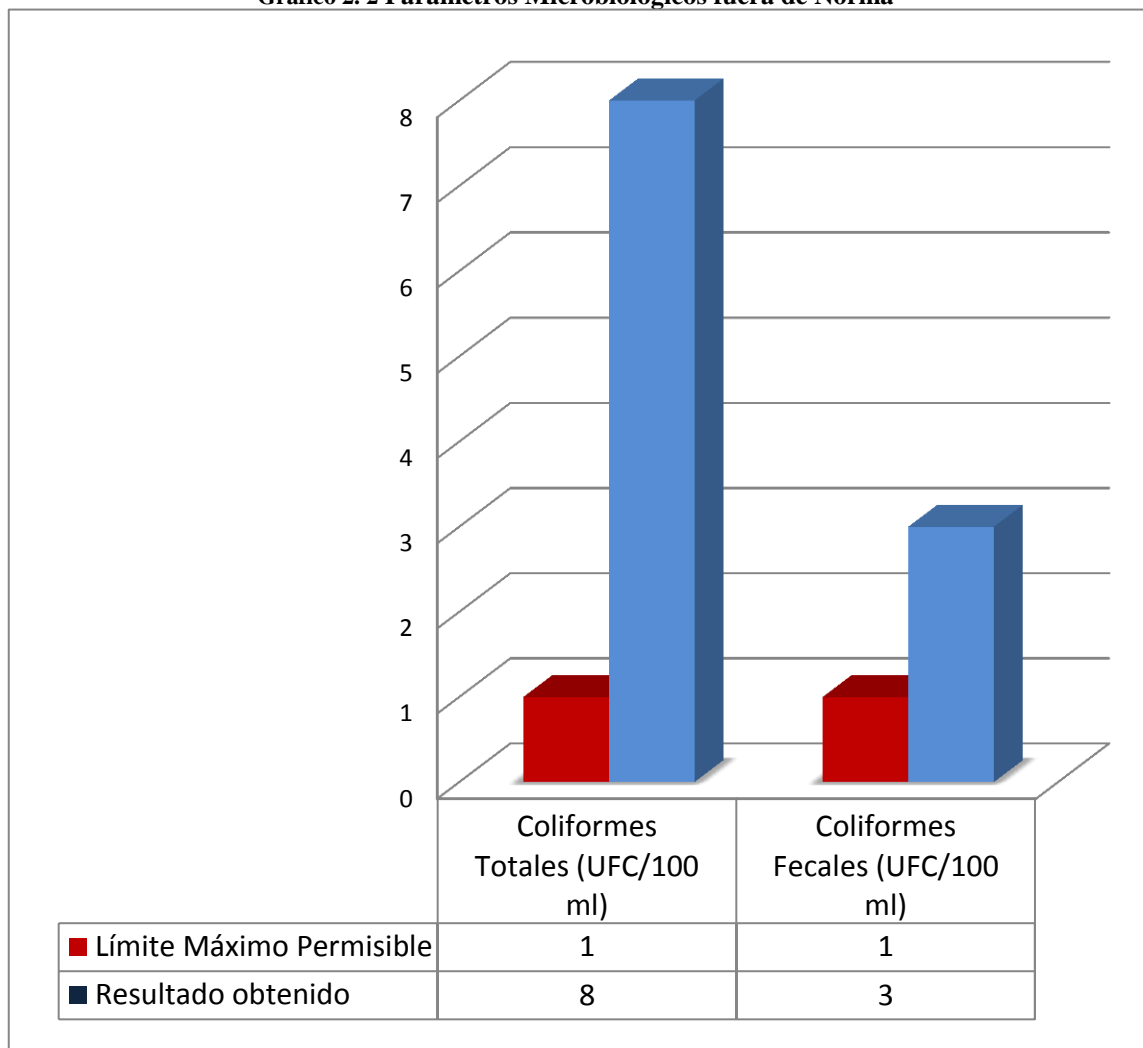
**Tabla 2. 26 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: NTE INEN 1108:2011. CUARTA REVISIÓN. AGUA POTABLE. REQUISITOS.</b>	<b>RESULTADO OBTENIDO</b>
1) Coliformes Totales	UFC/100 ml	<1	8
2) Coliformes Fecales	UFC/100 ml	<1	3

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

Se puede apreciar de una manera más detallada en el siguiente gráfico

**Gráfico 2. 2 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.



# **CAPÍTULO III**

## **CÁLCULOS Y RESULTADOS**

## **CAPÍTULO III**

### **3 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **3.1 CÁLCULOS**

##### **3.1.1 PRUEBAS DE TRATABILIDAD**

Una vez que se identificaron los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos. Se pudo determinar que el agua que en estudio, tienen parámetros que se encuentran fuera de norma, dichos parámetros son el color, la turbidez, el hierro, las coliformes totales y las coliformes fecales.

Es por ello que se llevaron a cabo las pruebas de tratabilidad en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Espoch para lograr encontrar el tratamiento más adecuado que permita obtener agua potable de calidad, que tenga todos sus parámetros dentro de norma.

##### **3.1.1.1 PRUEBA DE JARRAS**

###### **3.1.1.1.1 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)**

- Se pesó 1 gramo de PAC, teniendo en cuenta que se encuentre en perfectas condiciones, sin humedad ni contaminantes.
- Se procede a aforar cuidadosamente con agua destilada en un balón de 100 mL.
- Esta es la solución patrón de PAC al 1% con la cual se va a calcular la cantidad de PAC más efectiva para disminuir el color, la turbiedad y el hierro presente en el agua cruda.

Figura 3. 1 Prueba de jarras – Solución Estándar



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

- Se colocó 1 L. de muestra de agua en vasos de precipitación, se dosificó la solución patrón de policloruro de aluminio, en diferentes cantidades de tal manera que se pueda encontrar la más adecuada.
- Con una varilla de agitación se agitó por 5 minutos, luego se dejó en reposo por un espacio de 30 minutos
- Se empezó a dar la formación de flóculos en la parte baja de los vasos de precipitación.
- Se procedió a succionar 500 mL de sobrenadante para proceder a filtrarlos y luego se realizaron los análisis de los parámetros que se encontraban fuera de norma es decir la turbiedad, color y hierro además del pH.

- La dosis óptima de coagulante será el resultado de la dosis para la cual se obtiene un floc más resistente, acondicionado, con peso mayor que sedimenta rápidamente y en el que se obtiene la menor turbiedad y el menor color.

Figura 3. 2 Prueba de jarras – Dosificación de PAC

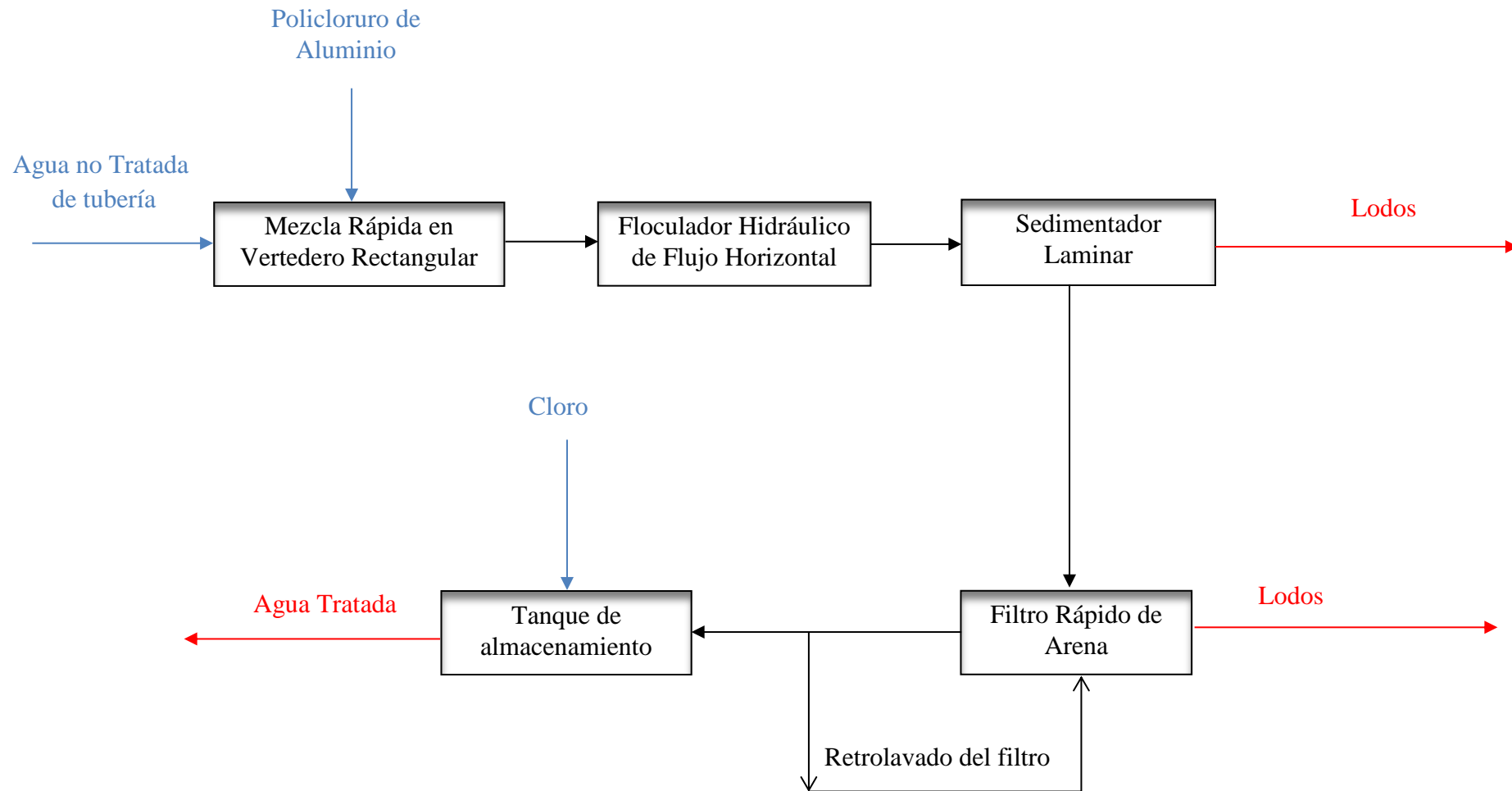


**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### **3.1.2 PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA**

En base a las caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas que se realizaron a las diferentes muestras de agua, se plantea la siguiente propuesta para el diseño del sistema de tratamiento de agua potable de las comunidades ya mencionadas:

**Figura 3. 3 Diagrama de Bloques del Sistema de Tratamiento de Potabilización de Agua Propuesto**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### **3.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ETAPAS DE POTABILIZACIÓN**

#### **3.1.3.1 CAUDAL DE DISEÑO**

##### **3.1.3.1.1 POBLACIÓN DE DISEÑO O POBLACIÓN FUTURA ( $P_f$ )**

La población futura se proyectará a 20 años y se calcula mediante la Ecuación 1.2, y los datos de la tabla 1.4:

$$P_f = P_a(1 + r)^{nt}$$

Datos:

$P_a$ = 768 hab.

$r$ =1,419 (índice de crecimiento intercensal determinado en el Censo de Población y Vivienda en la Parroquia San Isidro de Patulú INEC 2010).

**Tabla 3. 1 Proyección de la Población**

<b>N</b>	<b>Año</b>	<b>Población (hab.)</b>
0	2014	768
1	2015	779
2	2016	790
3	2017	801
4	2018	813
5	2019	824
6	2020	836
7	2021	848
8	2022	860
9	2023	872
10	2024	884
11	2025	897
12	2026	909
13	2027	922
14	2028	935
15	2029	949
16	2030	962
17	2031	976
18	2032	990
19	2033	1004
20	2034	1018

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

Se tiene que la población futura proyectada a 20 años será:

$$P_f = 1018 \text{ hab.}$$

### 3.1.3.1.2 NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

En base a la población futura calculada, se determina el nivel de complejidad del sistema de acuerdo a la **tabla 1.1. Nivel de Complejidad del Sistema:**

Nivel	Población de diseño
Bajo	< 2500
Medio	2501 – 12500
Medio Alto	12501 – 60000
Alto	> 60000

El nivel de complejidad del sistema es bajo, que corresponde a los 1018 habitantes de la población de diseño proyectada a 20 años es decir en el año 2034.

### 3.1.3.1.3 DOTACIÓN NETA ( $D_N$ )

La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema, para lo cual se emplea la tabla **1.3. Dotación Neta**, según el nivel de complejidad del sistema:

Nivel de Complejidad	Dotación neta mínima L/hab*día	Dotación neta máxima L/hab*día
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Según la tabla, la dotación neta a utilizar para un sistema con nivel de complejidad bajo será de 100 L/hab\*día.

$$D_N = 100 \text{ L/hab} * \text{día}$$



#### 3.1.3.1.4 PÉRDIDAS TÉCNICAS

Con el nivel de complejidad del sistema se determina el porcentaje admisible de pérdidas técnicas que se obtiene a partir de la **tabla 1.2. Pérdidas Técnicas**, según el nivel de complejidad del sistema:

Nivel de Complejidad	% Máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

El porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas para un sistema con un nivel de complejidad bajo es del 40%.

$$p_{\text{pérdidas técnicas}} = 40 \%$$

#### 3.1.3.1.5 DOTACIÓN BRUTA (DB)

Se procede a calcular la dotación bruta mediante la ecuación 1.3:

$$DB = \frac{DN}{1 - p_{\text{pérdidas técnicas}}}$$

Datos:

DN= 100 L/hab\*día

Pérdidas técnicas= 40%

$$DB = \frac{100}{1 - 0,4}$$

$$DB = 166,67 \text{ L/hab día}$$

### 3.1.3.1.6 CAUDAL MEDIO DIARIO ( $Q_{md}$ )

El caudal medio diario se calcula mediante la ecuación 1.4:

$$Q_{md} = P_f * DB$$

Datos:

$$P_f = 1018 \text{ hab}$$

$$DB = 166,67 \text{ L / hab día}$$

$$Q_{md} = 1018 * 166,67 = 169670 \text{ L/día}$$

Este sería el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta determinada.

### 3.1.3.1.7 CAUDAL MÁXIMO DIARIO ( $Q_{Md}$ )

El caudal máximo diario es el caudal de diseño para la planta de tratamiento. El coeficiente de consumo máximo diario,  $K_1$  se obtiene a partir de la **tabla 1.4. Valores de  $K_1$** :

Nivel de Complejidad	$K_1$
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

Como se puede ver en la tabla el nivel de complejidad para un sistema con nivel de complejidad bajo es de 1,3.

El caudal máximo diario se determina mediante la ecuación 1.5:

$$Q_{Md} = \frac{K_1 * Q_{md}}{86400}$$

Datos:

$$K_1 = 1,3$$

$$Q_{md} = 169670 \text{ L / día}$$

El valor de 86400 es una constante de conversión por ello las unidades del caudal máximo diario quedan el L/s.

$$Q_{Md} = \frac{1,3 * 169670}{86400} = 2,55 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0,00255 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{Md} = Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

El caudal de diseño para la planta de tratamiento es el caudal máximo diario ya que el diseño del sistema de tratamiento contará con un tanque de almacenamiento. Por tanto será el empleado en los cálculos subsiguientes.

### 3.1.3.2 MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDERO RECTANGULAR

El vertedero rectangular será construido de **hormigón**. Los cálculos se llevarán a cabo para un caudal de diseño:

$$Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

#### 3.1.3.2.1 ANCHO DEL VERTEDERO (B)

El ancho del vertedero se obtiene a partir de la ecuación 1.6:

$$B = \frac{Q}{1,84 H^{3/2}}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 0,05 \text{ m (Tabla 1.10.)}$$

El 1,84 representa un factor de conversión para que las unidades del ancho del vertedero sean unidades de longitud, en este caso metros.

$$B = \frac{0,00255}{1,84 (0,05)^{3/2}} = 0,124 \text{ m}$$

#### 3.1.3.2.2 CAUDAL POR UNIDAD DE ANCHO (q)

El caudal por unidad de ancho se calcula mediante la ecuación 1.7:

$$q = \frac{Q}{B}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 0,124 \text{ m}$$

$$q = \frac{0,00255}{0,124} = 0,021 \text{ m}^2/\text{s}$$

### 3.1.3.2.3 PROFUNDIDAD CRÍTICA DE FLUJO ( $h_c$ )

La profundidad crítica de flujo se obtiene mediante la ecuación 1.8:

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

Datos:

$$q = 0,021 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h_c = \left( \frac{0,021^2}{9,8} \right)^{1/3} = 0,036 \text{ m}$$

### 3.1.3.2.4 LONGITUD DEL SALTO ( $L_m$ )

La altura de la pared del vertedero, P, será de 0,50 m. a fin de tener una mezcla más eficiente, como ya se detalló en el marco teórico.

Para calcular la longitud del salto se utiliza la ecuación 1.9:

$$L_m = 4,3 P^{0,1} h_c^{0,9}$$

Datos:

$$h_c = 0,036 \text{ m}$$

$$P = 0,50 \text{ m (Tabla 1.10.)}$$

$$L_m = 4,3 (0,50)^{0,1} (0,036)^{0,9} = 0,201 \text{ m}$$

### 3.1.3.2.5 PROFUNDIDAD SUPERCRÍTICA ( $h_1$ )

La profundidad supercrítica es comúnmente conocida como la altura del agua después del salto y se determina mediante la ecuación 1.10:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

Datos:

$$P = 0,50 \text{ m (Tabla 1.10.)}$$

$$h_c = 0,036 \text{ m}$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{(0,50)}{(0,036)} + 1,5}} * (0,036) = 0,0102 \text{ m}$$

### 3.1.3.2.6 VELOCIDAD DEL AGUA EN EL SALTO ( $v_1$ )

La velocidad del agua en el salto se calcula a partir de la ecuación 1.11:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

Datos:

$$q = 0,021 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h_1 = 0,0102 \text{ m}$$

$$v_1 = \frac{0,021}{0,0102} = 2,059 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.2.7 NÚMERO DE FROUDE (F)

Para que haya resalto estable y mezcla eficiente, el número de Froude debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0. El número de Froude se determina a partir de la ecuación 1.12:

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Datos:

$$v_1 = 2,059 \text{ m/s}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h_1 = 0,0102 \text{ m}$$

$$F = \frac{2,059}{\sqrt{9,8 * (0,0102)}} = 6,51$$

El valor de 6,51 se encuentra dentro de los límites recomendados del número de Froude. (Tabla 1.10.)

### 3.1.3.2.8 PROFUNDIDAD SUBCRÍTICA ( $h_2$ )

La profundidad subcrítica es comúnmente conocida como la altura del agua después del resalto y se determina mediante la ecuación 1.13:

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) h_1$$

Datos:

$$F = 6,51$$

$$h_1 = 0,0102 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8(6,51)^2} - 1 \right) 0,0102 = 0,089 \text{ m}$$

### 3.1.3.2.9 VELOCIDAD DEL AGUA EN EL RESALTO ( $v_2$ )

La velocidad del agua en el resalto se calcula mediante la ecuación 1.14:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

Datos:

$$q = 0,021 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h_2 = 0,089 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{0,021}{0,089} = 0,236 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.2.10 PÉRDIDA DE ENERGÍA EN EL RESALTO ( $h$ )

La pérdida de energía en el resalto se calcula mediante la ecuación 1.15:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

Datos:

$$h_2 = 0,0890 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,0102 \text{ m}$$

$$h = \frac{(0,0890 - 0,0102)^3}{4 (0,0102)(0,0890)} = 0,135 \text{ m}$$



### 3.1.3.2.11 LONGITUD DEL RESALTO, PARA RESALTO ESTABLE ( $L_j$ )

Se calcula mediante la ecuación 1.16:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Datos:

$$h_2 = 0,0890 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,0102 \text{ m}$$

$$L_j = 6 (0,0890 - 0,0102) = 0,473 \text{ m}$$

### 3.1.3.2.12 VELOCIDAD MEDIA EN EL RESALTO ( $V_m$ )

La velocidad media en el resalto es el promedio de la velocidad del agua en el salto y en el resalto, se calcula a partir de la ecuación 1.17:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Datos:

$$v_1 = 2,059 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0,236 \text{ m/s}$$

$$v_m = \frac{2,059 + 0,236}{2} = 1,148 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.2.13 TIEMPO DE MEZCLA ( $t_m$ )

El tiempo de mezcla se calcula mediante la ecuación 1.18:

$$t_m = \frac{L_j}{v_m}$$

Datos:

$$L_j = 0,473 \text{ m}$$

$$v_m = 1,148 \text{ m/s}$$

$$t_m = \frac{0,473}{1,148} = 0,412 \text{ s}$$

### 3.1.3.2.14 GRADIENTE DE VELOCIDAD (G)

Para calcular el gradiente de velocidad se emplea la ecuación 1.19:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t_m}}$$

Datos:

$$\gamma = 9805 \text{ kN/m}^3 \text{ (Tabla 1.9.)}$$

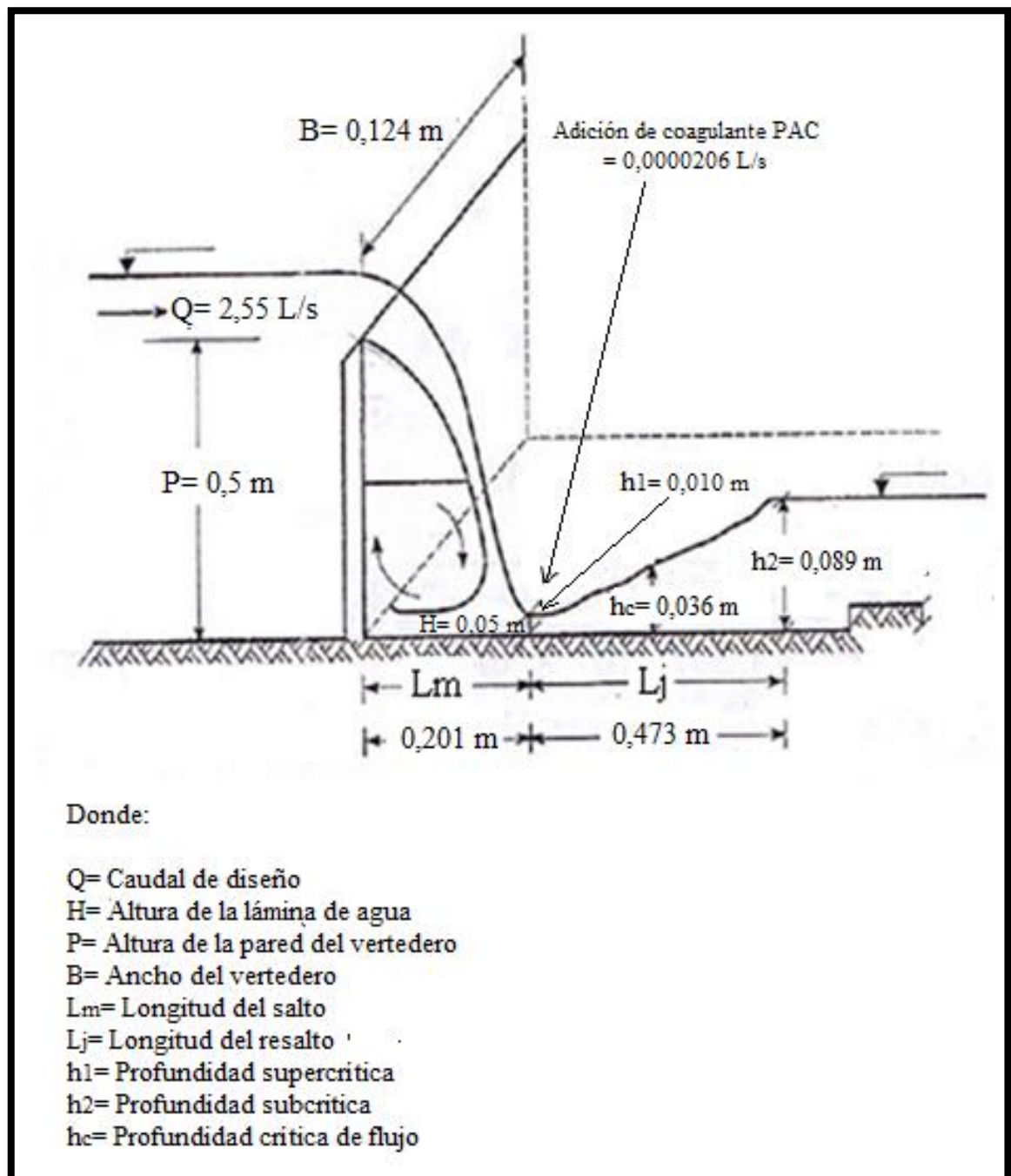
$$\mu = 1,391 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2 \text{ (Tabla 1.9.)}$$

$$h = 0,135 \text{ m}$$

$$t_m = 0,412 \text{ s}$$

$$G = \sqrt{\frac{(9805)(0,135)}{(1,391 \times 10^{-3})(0,412)}} = 1519,78 \text{ s}^{-1}$$

Figura 3. 4 Dimensiones del Vertedero Rectangular de Flujo Horizontal



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.1.3.2.15 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

La dosificación del Policloruro de Aluminio se efectuará por **vía húmeda**, empleando una **bomba dosificadora** de una **solución al 1%**, la concentración de PAC se determinó mediante la prueba de jarras y se encuentra detallada en el literal 3.1.1.3.

La cantidad de PAC a utilizar por día se calcula a partir de la ecuación 1.35:

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s} = 9,18 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C = 10 \text{ ppm}$$

$$P = 1\%$$

$$\rho = 1,24 \text{ kg/L}$$

El 60 de la fórmula representa un factor de conversión para que las unidades de la dosificación sean unidades de mL/min:

$$x = \frac{(9,18) * (10)}{60 * (1) * (1,24)} = 1,234 \text{ mL/min}$$

Mediante conversión se obtiene que la dosificación de PAC es la siguiente:

$$1,234 \text{ mL/min} = 1,777 \text{ L/día} = 0,0000206 \text{ L/s} = 2,203 \text{ kg/día}$$

Este caudal se considera sumamente bajo, teniendo en cuenta que el caudal de agua al día es de 220 320 L/día por lo tanto no afectará el valor de Q; debido a que el diseño total del sistema está calculado con un factor de seguridad del 10%.

Después de realizar la etapa de coagulación o mezcla crítica al añadir el PAC, es necesario diseñar el floculador.

### 3.1.3.3 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL

El material seleccionado para su construcción es el **hormigón** y lo que se busca es que el paso del vertedero rectangular al floculador sea instantáneo para evitar la formación de canales e interconexiones largas.

Los cálculos se llevarán a cabo para un caudal de diseño:

$$Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

#### 3.1.3.3.1 DISTANCIA O LONGITUD TOTAL RECORRIDA POR EL AGUA (L)

Para calcular la distancia recorrida por el agua se emplea la ecuación 1.20:

$$L = v * t$$

Datos:

$$v = 0,236 \text{ m/s (Literal 3.1.3.2.9.)}$$

$$t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s (Tabla 1.13.)}$$

$$L = 0,236 * 1200 = 283,2 \text{ m}$$

#### 3.1.3.3.2 VOLUMEN DE AGUA (V)

Este volumen de agua es el necesario para realizar la mezcla cada 20 min. Se calcula a partir de la ecuación 1.21:

$$V = Qt$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 1200 \text{ s (Tabla 1.13.)}$$

$$V = 0,00255 * 1200 = 3,060 \text{ m}^3$$

### 3.1.3.3.3 SECCIÓN O ÁREA TRANSVERSAL DE LOS CANALES (A)

La sección o área transversal requerida de un canal entre baffles se obtiene por medio de la ecuación 1.22:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 0,236 \text{ m/s (Literal 3.1.3.2.9.)}$$

$$A = \frac{0,00255}{0,236} = 0,011 \text{ m}^2$$

### 3.1.3.3.4 PROFUNDIDAD DEL AGUA (d)

La profundidad del agua se calcula por medio de la ecuación 1.23:

$$d = \frac{A}{a}$$

Datos:

$$A = 0,011 \text{ m}^2$$

$$a = 0,15 \text{ m (Tabla 1.13.)}$$

$$d = \frac{0,011}{0,15} = 0,073 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.5 PROFUNDIDAD TOTAL DEL TANQUE ( $Z_{TF}$ )

La profundidad total del tanque se calcula por medio de la siguiente ecuación 1.24:

$$Z_{TF} = d * fs$$

Datos:

$$d = 0,073 \text{ m}$$

$$fs: 10 \% \text{ (Tabla 1.13.)}$$

$$Z_{TF} = 0,073 * 1,10 = 0,0803 \text{ m}$$

Realizando la aproximación, la profundidad total del tanque será:

$$0,0803 \cong 0,08 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.6 ESPACIO LIBRE ENTRE LOS TABIQUES Y LA PARED DEL TANQUE ( $e$ )

El espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque se calcula por medio de la ecuación 1.25:

$$e = 1,5 a$$

Datos:

$$a = 0,15 \text{ m (Tabla 1.13.)}$$

$$e = 1,5 * (0,15) = 0,225 \text{ m}$$

Se adopta un espacio libre de  $e = 0,30\text{m}$ .

### 3.1.3.3.7 LONGITUD EFECTIVA DE CADA CANAL (l)

Para un ancho útil de la cámara de floculación,  $B_F$ , de 4,5 m, la longitud efectiva de cada canal será, según la ecuación. 1.26:

$$l = B_F - e$$

Datos:

$$B_F = 4,5 \text{ m (Tabla 1.13.)}$$

$$e = 0,3 \text{ m}$$

$$l = 4,5 - 0,3 = 4,2 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.8 NÚMERO REQUERIDO DE CANALES (N)

Para determinar el número requerido de canales se emplea la ecuación 1.27:

$$N = \frac{L}{l}$$

Datos:

$$L = 283,2 \text{ m}$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$N = \frac{283,2}{4,2} = 67$$

Luego de realizar el cálculo y teniendo en cuenta la distancia recorrida por el agua y la longitud de cada canal se requiere un total de 67 canales (66 tabiques).



### 3.1.3.3.9 LONGITUD TOTAL DE LA CÁMARA DE FLOCULACIÓN ( $L_T$ )

Se calcula a partir de la ecuación 1.28:

$$L_T = N a + (N - 1)b$$

Datos:

$$N = 67$$

$$a = 0,15 \text{ m (Tabla 1.13.)}$$

$$b = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m (Tabla 1.13.)}$$

$$L_T = [(67 * 0,15)] + [(67 - 1) * 0,03] = 12,03 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.10 RADIO HIDRÁULICO (R)

El radio hidráulico se determina por medio de la ecuación 1.29:

$$R = \frac{A}{2d + a}$$

Datos:

$$A = 0,011 \text{ m}^2$$

$$d = 0,073 \text{ m}$$

$$a = 0,15 \text{ m (Tabla 1.13.)}$$

$$R = \frac{0,011}{2 (0,073) + 0,15} = 0,037 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.11 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TANQUE ( $h_f$ )

El coeficiente de rugosidad de Manning,  $n$ , se obtiene de la tabla 1.7. Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning: Para el cemento  $n = 0,012$ .

Para calcular las pérdidas por fricción en el tanque se emplea la ecuación 1.30:

$$h_f = \frac{(vn)^2}{R^{4/3}} L$$

Datos:

$$v = 0,236 \text{ m/s}$$

$$n = 0,012 \text{ (Tabla 1.12.)}$$

$$R = 0,037 \text{ m}$$

$$L = 283,2 \text{ m}$$

$$h_f = \frac{(0,236 * 0,012)^2}{(0,037)^{4/3}} * 283,2 = 0,184 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.12 PÉRDIDAS ADICIONALES ( $h_a$ )

Las pérdidas adicionales se calculan a partir de la ecuación 1.31:

$$h_a = k(N - 1) \frac{v^2}{2g}$$

Datos:

$$k = 3 \text{ (Tabla 1.13.)}$$

$$N = 67$$

$$v = 0,236 \text{ m/s}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h_a = 3 (67 - 1) * \frac{0,236^2}{2 (9,8)} = 0,563 \text{ m}$$

### 3.1.3.3.13 PÉRDIDA DE CARGA TOTAL ( $h_T$ )

La pérdida de energía o carga total se calcula a partir de la ecuación 1.32:

$$h_T = h_f + h_a$$

Datos:

$$h_f = 0,184 \text{ m}$$

$$h_a = 0,563 \text{ m}$$

$$h_T = 0,184 + 0,563 = 0,747 \text{ m}$$

Es fundamental que la altura del agua permanezca constante, de esta manera el gradiente de velocidad durante todo el tramo del floculador también lo estará; por ello el fondo del floculador hidráulico de flujo horizontal debe tener una pendiente o inclinación igual a la pérdida de carga total,  $h_T$ , calculada en este literal, es decir 0,747 m.

### 3.1.3.3.14 GRADIENTE DE VELOCIDAD ( $G$ )

El gradiente de velocidad se calcula a partir de la ecuación 1.33:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_T}{\mu t}}$$

Datos:

$$\gamma = 9805 \text{ kN/m}^3 \text{ (Tabla 1.9.)}$$

$$\mu = 1,391 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2 \text{ (Tabla 1.9.)}$$

$$h_T = 0,747 \text{ m}$$

$$t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s (Tabla 1.13.)}$$

$$G = \sqrt{\frac{(9805) * (0,747)}{(1,391 \times 10^{-3}) * (1200)}} = 66,24 \text{ s}^{-1}$$

### 3.1.3.3.15 NÚMERO ADIMENSIONAL DE CAMP ( $G_t$ )

El número adimensional de Camp se determina a partir de la ecuación 1.34:

$$G_t = G * t$$

Datos:

$$G = 66,24 \text{ s}^{-1}$$

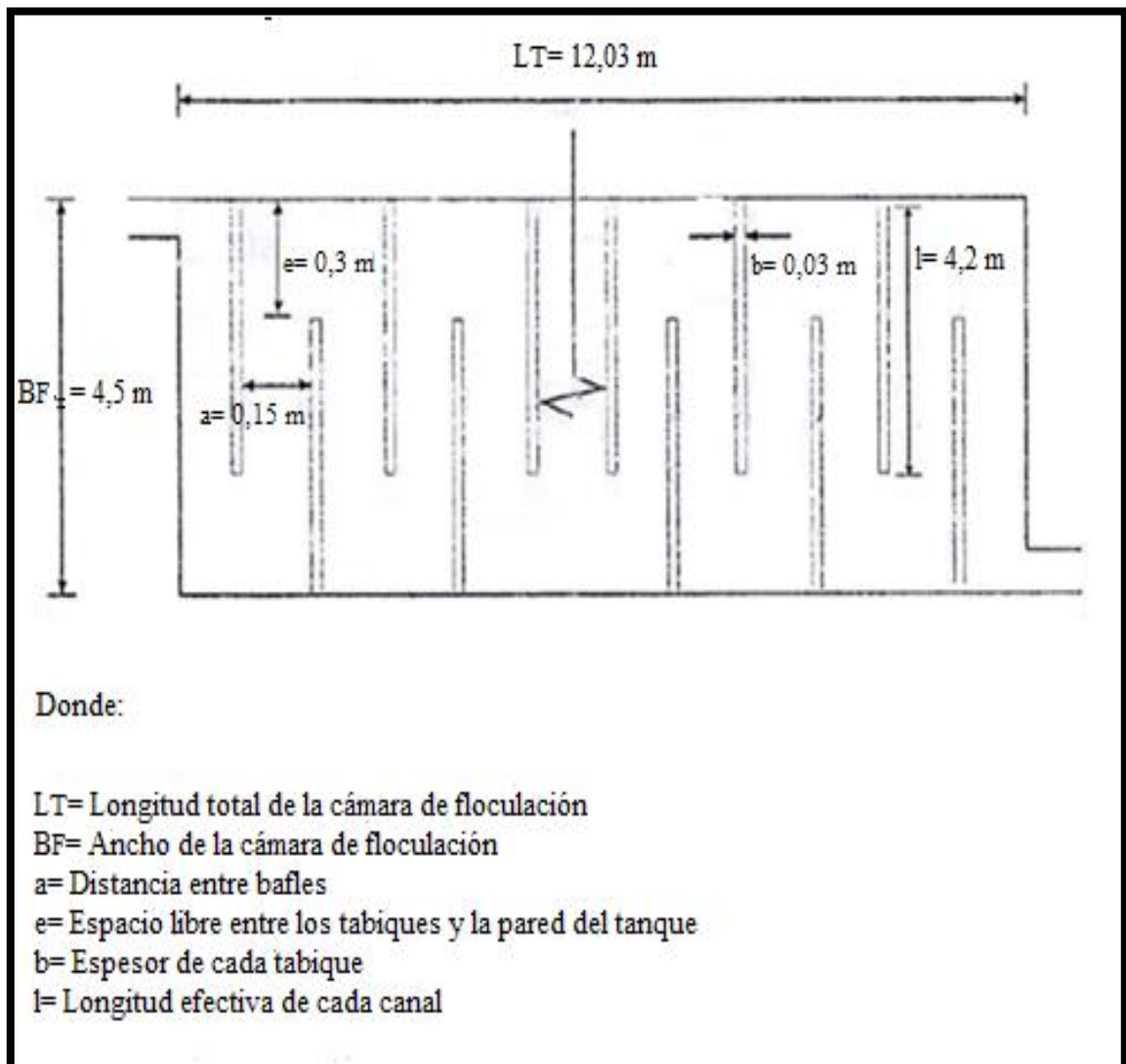
$$t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s (Tabla 1.13.)}$$

$$G_t = 66,24 * 1200 = 79488$$

Como se puede observar en la **tabla 1.11. Parámetros de Diseño para Floculadores Hidráulicos de Tabiques**. Los valores del gradiente de velocidad,  $G = 66,24 \text{ s}^{-1}$  y el número adimensional de Camp,  $G_t = 79488$  se encuentran dentro de los rangos recomendados según los criterios de varios autores, por lo que los valores asumidos del tiempo de mezcla,  $t$ , distancia entre baffles,  $a$  y el espesor de los tabiques,  $b$ , son correctos.

Criterio	$G \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$t \text{ (min)}$	$G_t$	$v \text{ (m/s)}$	$h_T$
Smethurst	20 – 100	10 – 60	20000 – 150000	0,15 – 0,50	0,15 – 0,60
Arboleda	10 – 100	15 – 20	-	0,10 – 0,60	-
Insfopal	-	15 – 60	-	0,15 – 0,45	-
Hardenbergh y Rodie	-	20 – 50	-	0,15 – 0,45	-
Fair y Geyer	-	10 – 90	-	0,10 – 0,90	0,30 – 0,90
Awwa	5 – 100	10 – 60	30000 – 150000	0,09 – 0,30	-
Cepis	10 – 100	10 – 60	-	0,10 – 0,60	-
RAS 2000	20 – 70	20 – 30	-	0,20 – 0,60	-

Figura 3. 5 Dimensiones del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

#### 3.1.3.4 SEDIMENTADOR LAMINAR

El tanque de sedimentación del sedimentador laminar será construido de **hormigón** cuyas placas interiores serán de material de **asbesto-cemento** prefabricadas.

Los cálculos se llevarán a cabo para un caudal de diseño:

$$Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

##### 3.1.3.4.1 CARGA SUPERFICIAL O VELOCIDAD PROMEDIO DESPUÉS DE INSTALAR LAS PLACAS ( $v_{so}$ )

Para calcular la carga superficial o velocidad promedio después de instalar las placas se utiliza la ecuación 1.36:

$$v_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

Datos:

$$l_p = 1,20 \text{ m (Tabla 1.16.)}$$

$$t_{rp} = 15 \text{ min (Tabla 1.15.)}$$

$$v_{so} = \frac{1,20}{15} = 0,08 \text{ m/min}$$

Realizando la conversión:

$$0,08 \text{ m/min} = 115,2 \text{ m/día}$$

#### 3.1.3.4.2 ÁREA DE SEDIMENTACIÓN ACELERADA ( $A_s$ )

El área de sedimentación acelerada se obtiene a partir de la ecuación 1.37:

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \sen \theta}$$

Datos:

$$Q = 220,32 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\theta = 60^\circ \text{ (Tabla 1.15.)}$$

$$v_{so} = 115,2 \text{ m/día}$$

$$A_s = \frac{220,32}{115,2 * (\sen 60)} = 2,208 \text{ m}^2$$

#### 3.1.3.4.3 LONGITUD DEL ÁREA DE SEDIMENTACIÓN ACELERADA ( $L_s$ )

La longitud del área de sedimentación acelerada se calcula a partir de la ecuación 1.38:

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

Datos:

$$A_s = 2,208 \text{ m}^2$$

$$B_s = 2,5 \text{ m (Tabla 1.16.)}$$

$$L_s = \frac{2,208}{2,5} = 0,883 \text{ m}$$

#### 3.1.3.4.4 LONGITUD RELATIVA DEL SEDIMENTADOR ( $L_r$ )

Para calcular la longitud relativa del sedimentador se utiliza la ecuación 1.39:

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Datos:

$$l_p = 1,20 \text{ m (Tabla 1.16.)}$$

$$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m (Tabla 1.15.)}$$

$$L_r = \frac{1,20}{0,05} = 24$$

#### 3.1.3.4.5 LONGITUD RELATIVA EN LA REGIÓN DE TRANSICIÓN ( $L'$ )

La longitud relativa en la región de transición se determina mediante la ecuación 1.40:

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} * e_p}{v_{H2O}}$$

Datos:

$$v_{so} = 0,08 \text{ m/min}$$

$$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$v_{H2O}: 1,498 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 8,988 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{min (Tabla 1.18.)}$$

$$L' = 0,013 * \frac{0,08 * (0,05)}{8,988 \times 10^{-5}} = 0,579$$



#### 3.1.3.4.6 LONGITUD RELATIVA CORREGIDA ( $L_c$ )

Se procede a seleccionar entre las ecuaciones 1.41 y la 1.42:

$$L_c = 2(L_r - L') \quad \text{Si } L' > L_r/2$$

(Ecuación 1.41)

$$L_c = L_r - L' \quad \text{Si } L' \leq L_r/2$$

(Ecuación 1.42)

En este caso como  $L' \leq L_r/2$  es decir  $0,579 \leq (24/2)$  se realiza el cálculo de la longitud relativa corregida con la ecuación 1.42:

$$L_c = L_r - L'$$

Datos:

$$L_r = 24$$

$$L' = 0,579$$

$$L_c = 24 - 0,579 = 23,421$$

#### 3.1.3.4.7 VELOCIDAD CRÍTICA DE SEDIMENTACIÓN ( $V_{sc}$ )

Para calcular la velocidad crítica de sedimentación se lleva a cabo por medio de la ecuación 1.43:

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_{so}}{\sin\theta + L_r \cos\theta}$$

Datos:

$$S_c = 1 \text{ (Tabla 1.17.)}$$

$$v_{so} = 115,2 \text{ m/día}$$

$$\theta = 60^\circ \text{ (Tabla 1.15.)}$$

$$L_r = 24$$

$$v_{sc} = \frac{1 * (115,2)}{\sin(60) + 24 \cos(60)} = 8,954 \text{ m/día}$$

#### 3.1.3.4.8 NÚMERO DE REYNOLDS ( $N_{Re}$ )

El número de Reynolds se calcula mediante la ecuación 1.44:

$$N_{Re} = \frac{v_{so} * e_p}{v_{H_2O}}$$

Datos:

$$v_{so} = 0,08 \text{ m/min} = 115,2 \text{ m/día}$$

$$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m (Tabla 1.15.)}$$

$$v_{H_2O}: 1,498 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,129 \text{ m}^2/\text{día (Tabla 1.18.)}$$

$$N_{Re} = \frac{115,2 * (0,05)}{0,129} = 44,504$$

Como se puede ver en la tabla 1.14 un valor de 44,504 de Número de Reynolds corresponde a un flujo laminar, es decir el apropiado para el funcionamiento óptimo de un Sedimentador Laminar.

#### 3.1.3.4.9 VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR ( $V_{TS}$ )

Para calcular el volumen del sedimentador se emplea la ecuación 1.45:

$$V_{TS} = L_s * B_s * Z_s$$

Datos:

$$L_s = 0,883 \text{ m}$$

$$B_s = 2,5 \text{ m (Tabla 1.16.)}$$

$$Z_s = 3 \text{ m (Tabla 1.15.)}$$

$$V_{TS} = (0,883) * (2,5) * (3) = 6,623 \text{ m}^3$$

#### 3.1.3.4.10 TIEMPO DE RETENCIÓN EN EL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN ( $t_{rs}$ )

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación se obtiene a partir de la ecuación 1.46:

$$t_{rs} = \frac{V_{TS}}{Q}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{TS} = 6,623 \text{ m}^3$$

$$t_{rs} = \frac{6,623}{0,00255} = 2597,255 \text{ s}$$

Realizando la conversión a minutos se tiene:

$$2597,255 \text{ s} = 43,288 \text{ min}$$

### 3.1.3.4.11 NÚMERO DE PLACAS ( $N_p$ )

Para calcular el número de placas se emplea la ecuación 1.47:

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \operatorname{sen} \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

Datos:

$$L_s = 0,883 \text{ m}$$

$$L_p = 1.20 \text{ m (Tabla 1.16.)}$$

$$\theta = 60^\circ \text{ (Tabla 1.15.)}$$

$$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m (Tabla 1.15.)}$$

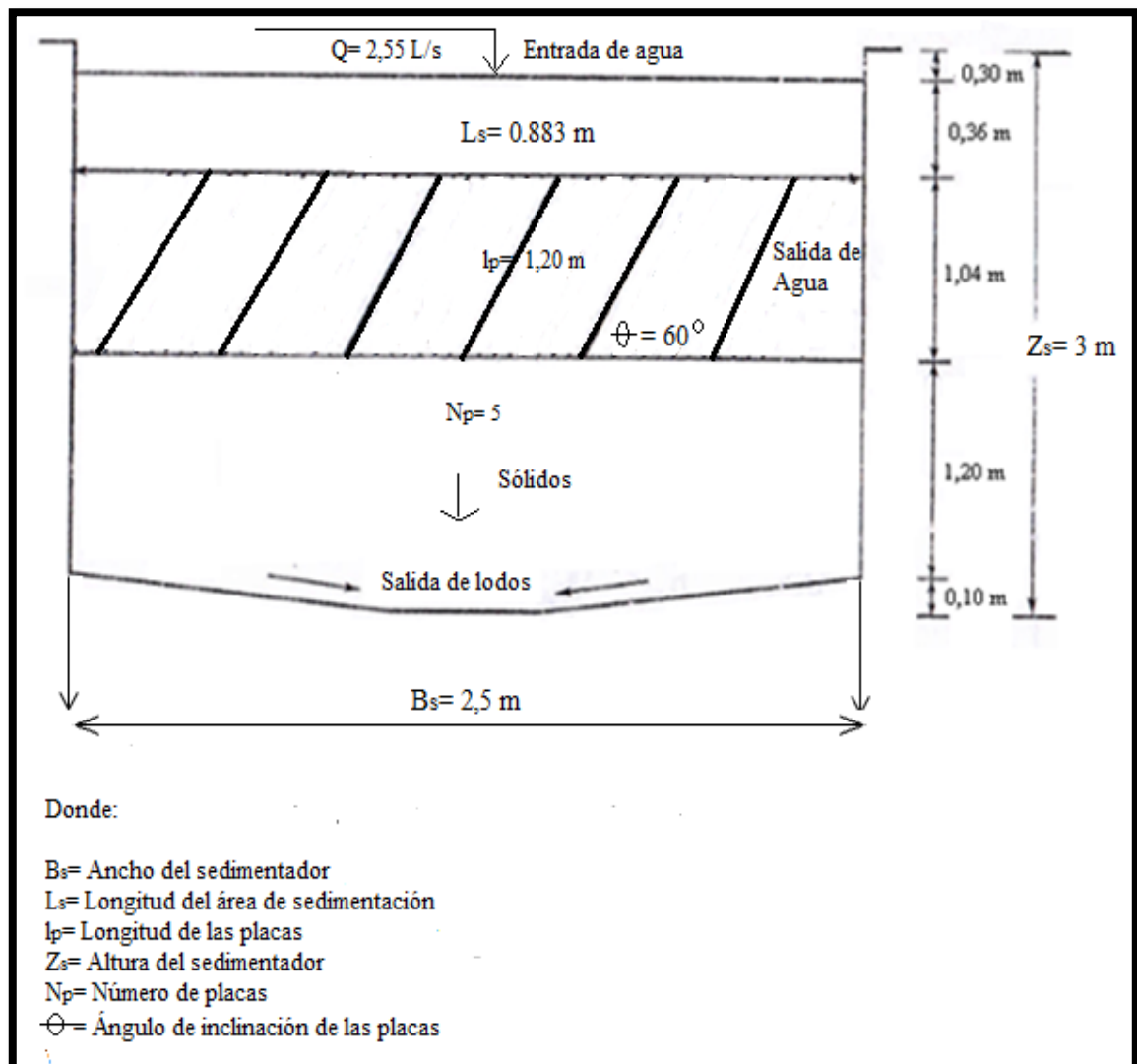
$$b_p = 0,01 \text{ m (Tabla 1.16.)}$$

$$N_p = \frac{[0,883 - (1,20 * \cos 60)] \operatorname{sen} 60 + 0,05}{0,05 + 0,01} = 4,92$$

Realizando la aproximación se tiene un total de 5 placas en el Sedimentador Laminar.

$$4,92 \cong 5$$

Figura 3. 6 Dimensiones del Sedimentador Laminar



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.1.3.5 FILTRO RÁPIDO DE ARENA

El filtro rápido será utilizado para retener las partículas suspendidas y coloidales que no sedimentaron en la etapa anterior. Será construido de **hormigón** y tendrá un **lecho filtrante de arena** y una **capa de soporte de grava**. Los cálculos se llevarán a cabo para un caudal de diseño:

$$Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

#### 3.1.3.5.1 NÚMERO DE FILTROS ( $n_f$ )

El número de filtros se calcula a partir de la ecuación 1.48:

$$n_f = 0,044 \sqrt{Q}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s} = 220,32 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$n_f = 0,044 \sqrt{220,32} = 0,65$$

Realizando la aproximación:  $0,65 \cong 1$

#### 3.1.3.5.2 ÁREA DEL FILTRO ( $A_f$ )

Para calcular el área del filtro se emplea la ecuación 1.49:

$$A_f = \frac{Q}{t_f}$$

Datos:

$$Q = 220,32 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$t_f = 120 \text{ m/d (Tabla 1.21.)}$$

$$A_f = \frac{220,32}{120} = 1,836 \text{ m}^2$$

### 3.1.3.5.3 COEFICIENTE DE MÍNIMO COSTO (Kc)

El coeficiente de mínimo costo se determina a partir de la ecuación 1.51:

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

Datos:

$$n_f = 1$$

$$K_c = \frac{2 * (1)}{1 + 1} = 1$$

### 3.1.3.5.4 LONGITUD DEL FILTRO (Lf)

La longitud del filtro se calcula a partir de la ecuación 1.52:

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c}$$

Datos:

$$A_f = 1,836 \text{ m}^2$$

$$K_c = 1$$

$$L_f = \sqrt{1,836 * (1)} = 1,355 \text{ m}$$

### 3.1.3.5.5 ANCHO DEL FILTRO ( $a_f$ )

El ancho del filtro se determina mediante la ecuación 1.53:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

Datos:

$$A_f = 1,836 \text{ m}^2$$

$$K_c = 1$$

$$a_f = \sqrt{\frac{1,836}{1}} = 1,355 \text{ m}$$

### 3.1.3.5.6 COMPOSICIÓN DEL LECHO FILTANTE

#### 3.1.3.5.6.1 ALTURA DEL FILTRO ( $Z_f$ )

La altura del filtro se calcula en base a los parámetros de la composición del lecho filtrante, mediante la ecuación 1.54:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + Fc)$$

Datos:

$$f_s = 10\% \text{ (Tabla 1.19.)}$$

$$C_a = 1,5 \text{ m (Tabla 1.19.)}$$

$$L_a = 0,8 \text{ m (Tabla 1.19.)}$$

$$C_s = 0,4 \text{ m (Tabla 1.19.)}$$

$$Fc = 0,25 \text{ m (Tabla 1.19.)}$$

$$Z_f = 1,10(1,5 + 0,8 + 0,4 + 0,25) = 3,245 \text{ m}$$



### 3.1.3.5.7 SISTEMA DE DRENAJE

#### 3.1.3.5.7.1 Área de los Orificios Laterales ( $A_o$ )

Para calcular el Área de los orificios laterales se emplea la ecuación 1.55:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

Datos:

$$D_o = 10 \text{ mm} = 0,010 \text{ m (Tabla 1.20.)}$$

$$A_o = \frac{\pi * (0,010)^2}{4} = 0,00007854 \text{ m}^2$$

Realizando la conversión:

$$0,00007854 \text{ m}^2 = 0,7854 \text{ cm}^2$$

#### 3.1.3.5.7.2 Caudal que ingresa a cada orificio ( $Q_o$ )

Para calcular el caudal que ingresa a cada orificio se emplea la ecuación 1.56:

$$Q_o = A_o v_o$$

Datos:

$$v_o = 4 \text{ m/s (Tabla 1.20.)}$$

$$A_o = 0,00007854 \text{ m}^2$$

$$Q_o = 4 * 0,00007854 = 0,00003142 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.1.3.5.7.3 Número de Laterales ( $N_L$ )

Para determinar el número de laterales se emplea la ecuación 1.57:

$$N_L = 2 \frac{a_f}{e_L}$$

Datos:

$$e_L = 1,2 \text{ m (Tabla 1.20.)}$$

$$a_f = 1,355 \text{ m}$$

$$N_L = 2 \frac{(1,355)}{(1,2)} = 2,56$$

Realizando la aproximación:

$$2,56 \cong 3$$

Se tendrá 3 laterales a cada lado del sistema de drenaje.

### 3.1.3.5.8 DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DEL FILTRO

#### 3.1.3.5.8.1 Diámetro de la tubería de Entrada al filtro ( $D_T$ )

El diámetro de la tubería de entrada al filtro se determina a partir de la ecuación 1.58:

$$D_T = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_e = 6 \text{ m/s (Tabla 1.21.)}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4 (0,00255)}{\pi (6)}} = 0,023 \text{ m}$$

### 3.1.3.5.8.2 Diámetro de la tubería de Salida al filtro ( $D_{Ts}$ )

Mientras el diámetro de la tubería de salida al filtro se calcula a partir de la ecuación 1.59:

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_e = 1 \text{ m/s (Tabla 1.21.)}$$

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4 (0,00255)}{\pi (1)}} = 0,057 \text{ m}$$

### 3.1.3.5.9 SISTEMA DE LAVADO DEL FILTRO

#### 3.1.3.5.9.1 Velocidad Óptima de lavado del Filtro ( $v_l$ )

La velocidad óptima de lavado del filtro se calcula mediante la ecuación 1.60

$$v_l = D_{60} = CU * TE$$

Datos:

$$CU = 1,5 \text{ (Tabla 1.19.)}$$

$$TE = 0,5 \text{ mm (Tabla 1.19.)}$$

$$v_l = 1,5 * 0,5 = 0,75 \text{ m/min}$$

### 3.1.3.5.9.2 Cantidad de agua para el lavado del Filtro ( $V_l$ )

Para calcular la cantidad de agua para el lavado del filtro se utiliza la ecuación 1.61:

$$V_l = v_l A_f t_l$$

Datos:

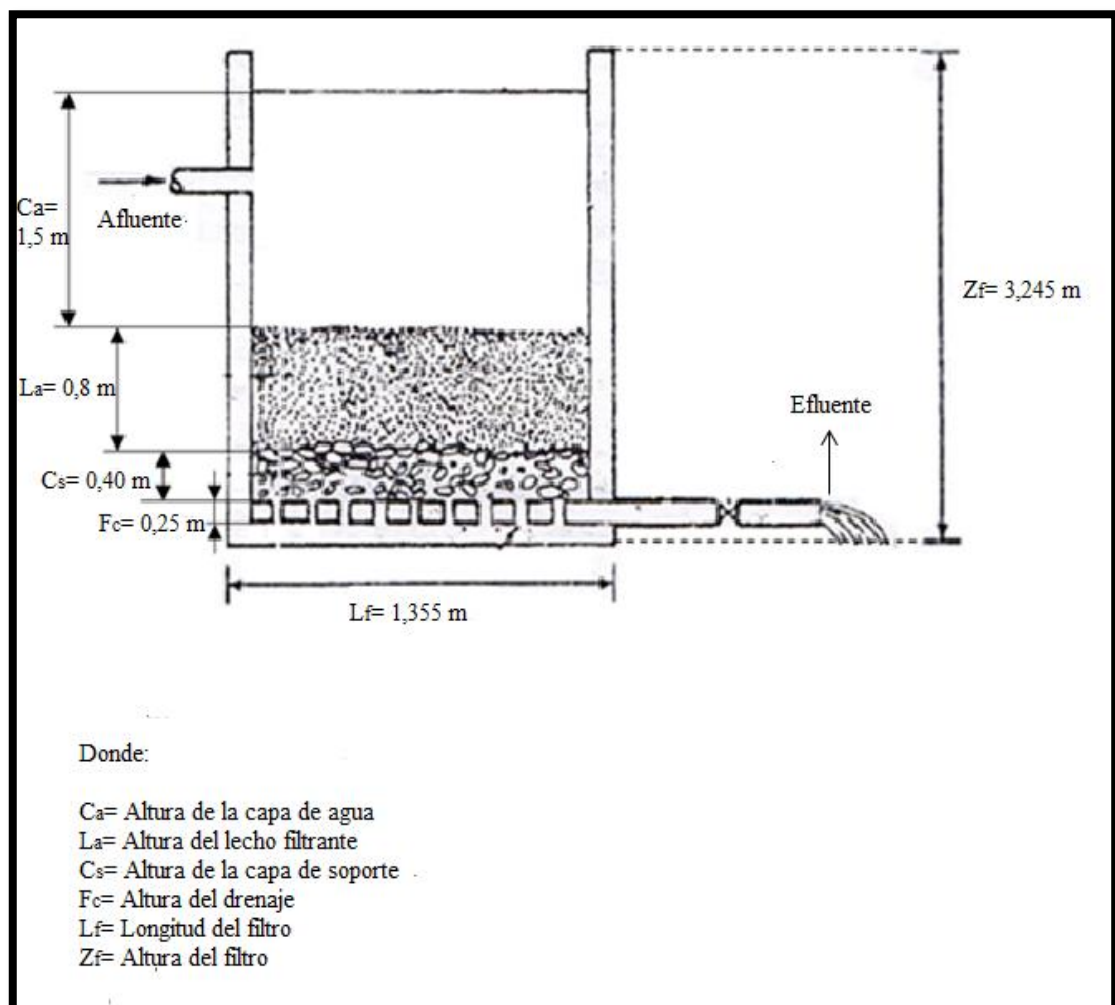
$$v_l = 0,75 \text{ m/min}$$

$$A_f = 1,836 \text{ m}^2$$

$$t_l = 10 \text{ min (Tabla 1.19.)}$$

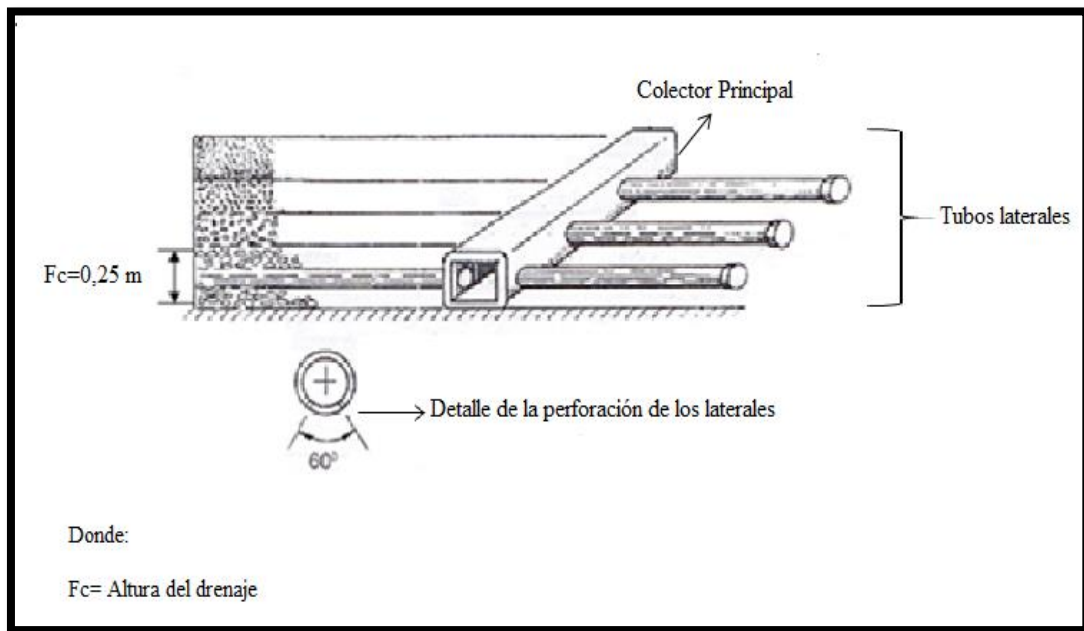
$$V_l = 0,75 * 1.836 * 10 = 13,77 \text{ m}^3$$

**Figura 3. 7 Dimensiones del Filtro Rápido de Arena**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

Figura 3. 8 Drenaje del filtro con tuberías perforadas



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.1.3.6 DESINFECCIÓN

La etapa final del tratamiento será la desinfección. El tanque de desinfección tendrá la función también de ser tanque de almacenamiento del agua tratada; será construido de **hormigón**, la desinfección se realizará mediante la aplicación de **hipoclorito de sodio**. Los cálculos se llevarán a cabo para un caudal de diseño:

$$Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

#### 3.1.3.6.1 DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO (D)

La dosificación del hipoclorito de sodio se obtiene a partir de la tabla 1.22. Demanda de hipoclorito de sodio para aguas:

Aguas Claras	0,3 mg/L
Aguas Turbias	1,5 mg/L

De aquí se obtiene que es necesaria una dosificación (D) de 1,5 mg/L de hipoclorito de sodio, ya que de acuerdo a la caracterización inicial el agua tiene 19,8 NTU de turbiedad mientras que el límite máximo permisible para la turbiedad es de 5 NTU como indica la norma INEN 1108:2011. Cuarta revisión. Agua potable. Requisitos. Además la cloración contribuye a disminuir las coliformes totales y coliformes fecales que se encontraban fuera de norma.

#### **3.1.3.6.2 PESO DE CLORO NECESARIO ( $P_{Cl}$ )**

El peso de cloro necesario se obtiene mediante la ecuación 1.62:

$$P_{Cl} = \frac{Q D 86400}{1000}$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 1,5 \text{ mg/L}$$

Los valores de 86400 y de 1000 de la ecuación son constantes de conversión que permiten que el valor del peso de cloro necesario se obtenga en kg/día.

$$P_{Cl} = \frac{(0,00255) * (1,5) * 86400}{1000} = 0,33 \text{ kg/día}$$

### 3.1.3.6.3 VOLUMEN DEL HIPOCLORADOR ( $V_H$ )

El volumen del hipoclorador se determina a partir de la ecuación 1.63:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

Datos:

$$P_{Cl} = 0,33 \text{ kg/día}$$

$$C = 5\% \text{ (Tabla 1.22.)}$$

$$V_H = \frac{0,33}{5 * (5)} = 0,0132 \text{ m}^3$$

### 3.1.3.6.4 TANQUE DE DESINFECCIÓN PARA LA MEZCLA DE CLORO

El tanque de desinfección para la mezcla de cloro será construido de **hormigón**, los cálculos se llevarán a cabo para un caudal de diseño:

$$Q = 2,55 \text{ L/s} = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}.$$

#### 3.1.3.6.4.1 Volumen del Tanque de la desinfección para la mezcla de cloro ( $V_{Tc}$ )

El volumen del Tanque para la mezcla de cloro se determina por medio de la ecuación 1.64:

$$V_{Tc} = Q t_{or} f_s$$

Datos:

$$Q = 0,00255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_{or} = 1800 \text{ s (Tabla 1.23.)}$$

$$f_s = 10\% \text{ (Tabla 1.23.)}$$

$$V_{Tc} = 0,00255 * 1800 * 1.10 = 5,049 \text{ m}^3$$

#### 3.1.3.6.4.2 Altura del Tanque de desinfección para la mezcla de cloro ( $H_{Tc}$ )

Para calcular la altura del tanque para la mezcla de cloro se utiliza la ecuación 1.65:

$$H_{Tc} = \frac{V_{Tc}}{A_{Tc}}$$

(Ecuación 1.65)

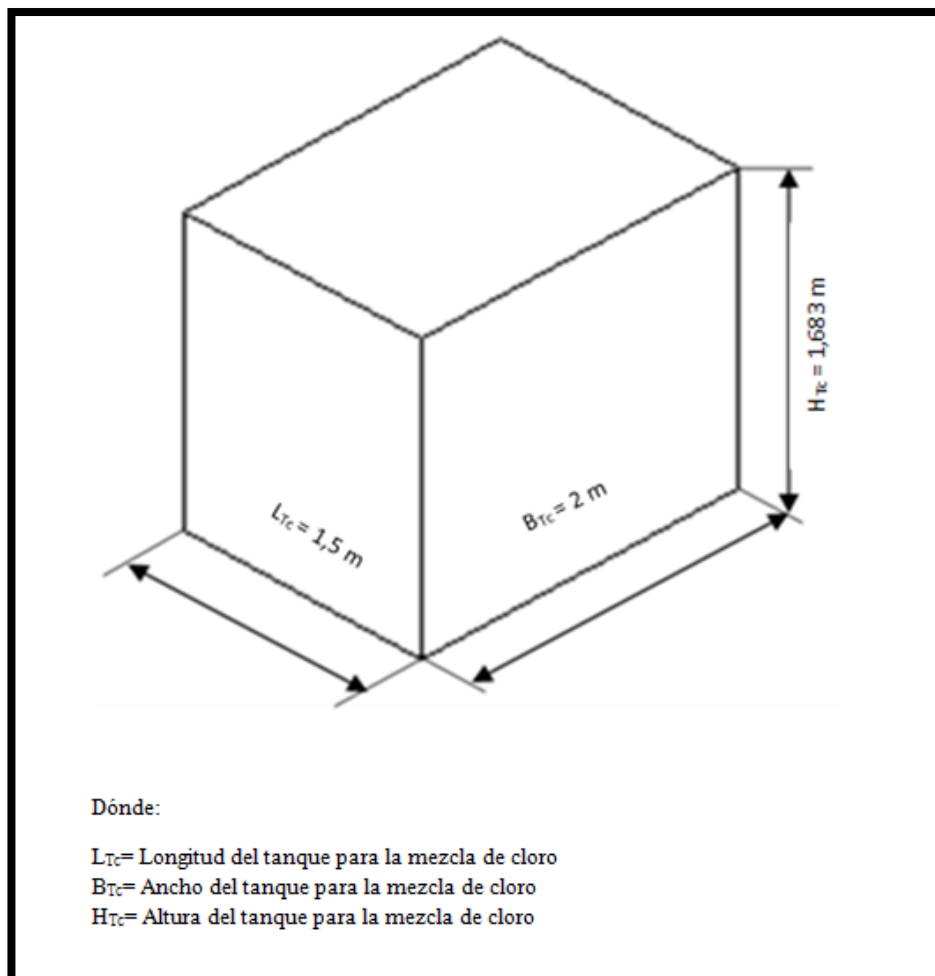
Datos:

$$V_{Tc} = 5,049 \text{ m}^3$$

$$A_{Tc} = 3 \text{ m}^2 \text{ (Tabla 1.23.)}$$

$$H_{Tc} = \frac{5,049}{3} = 1,683 \text{ m}$$

Figura 3. 9 Dimensiones del Tanque para Mezcla de Cloro



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.



### 3.1.4 REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

#### 3.1.4.1 COSTOS DE INVERSIÓN

##### 3.1.4.1.1 COSTOS DE EQUIPOS, ESTRUCTURAS Y ACCESORIOS

Los accesorios empleados en la planta de potabilización del agua se detallan en el ANEXO XVII. Mientras los costos de los equipos se han obtenido a partir de las capacidades y dimensiones detalladas en los ANEXOS: XVIII, XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV.

**Tabla 3. 2 Costos de Accesorios Equipos y Estructuras**

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos/Accesorios</b>		<b>Material</b>	<b>Capacidad/Dimensiones</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
2,5 m	Tubería		PVC	1 pulg	0,70/m	1,75
8 m	Tubería		PVC	2 pulg	1,32/m	10,56
2	Codo de 90°		PVC	1 pulg	0,80	1,60
4	Válvulas de bola		PVC	1 pulg	2,50	10,00
4	Válvulas de bola		PVC	2 pulg	9,00	36,00
		Bomba Dosificadora de PAC	-	-	-	1500,00

1	Mezclador en vertedero rectangular	Punto de adición del PAC	Hormigón armado	0,0502 m³	245/m³	12,30
		Estructura mezclador	Hormigón armado	5,021 m³	245/m³	1230,15
1	Floculador hidráulico de flujo horizontal incluido los baffles		Hormigón armado	5,414 m³	245/m³	1326,43
1	Sedimentador laminar	Estructura	Hormigón armado	6,623 m³	245/m³	1622,64
		Placas planas	Asbesto – cemento	2,88 m² c/placa (14,4 m² 5 placas)	67,50/m²	972,00
1	Filtro rápido de arena	Estructura	Hormigón armado	5,958 m³	245/m³	1459,71
		Grava media (2 – 3 cm)	-	0,2272 m³	5070/m³	1191,90
		Arena media (0,25 – 0,5 m)	-	0,909 m³	1800/m³	1636,20
1	Tanque de desinfección (Tanque de almacenamiento)	Estructura	Hormigón armado	5,049 m³	245/m³	1237,01
		Hipoclorador por goteo	-	0,013 m³	-	100,00
TOTAL						12348,25

Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.1.4.1.2 COSTOS DE INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y MANO DE OBRA DE CONSTRUCCIÓN

**Tabla 3. 3 Costos de Instalación Hidráulica y mano de obra de construcción**

<b>Actividad</b>	<b>Costo (\$)</b>
Instalación hidráulica	1250,00
Mano de obra de construcción (materiales), obra civil (incluido conexiones), otros.	4500,00
<b>TOTAL</b>	<b>5750, 00</b>

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### 3.1.4.1.3 COSTOS TOTALES DE INVERSIÓN

**Tabla 3. 4 Costos Totales de Inversión**

<b>Tipo de Costo</b>	<b>Valor de la Inversión (\$)</b>
Costos de accesorios, equipos y estructuras.	12348,25
Costos de Instalación Hidráulica y mano de obra de construcción.	5750, 00
<b>TOTAL</b>	<b>18098,25</b>

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### 3.2 RESULTADOS

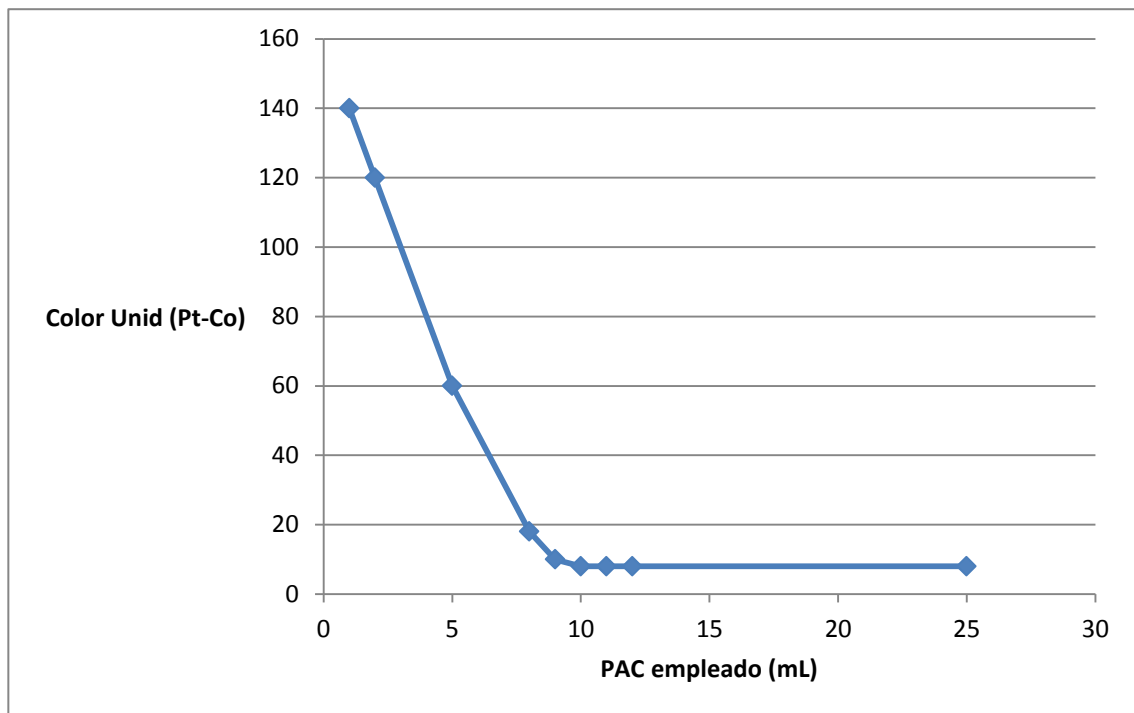
#### 3.2.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Tabla 3. 5 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad

Volumen de agua (L)	Solución de PAC al 1% (mL)	Color Unid. (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	Hierro (mg/L)	pH
1	1	140	4,50	0,30	7,07
1	2	120	4,30	0,20	7,00
1	5	60	4,00	0,10	6,80
1	8	18	2,50	0,08	6,63
1	9	10	2,30	0,06	6,63
1	10	8	2,00	0,05	6,51
1	11	8	2,10	0,06	6,45
1	12	8	2,10	0,06	6,40
1	25	8	2,80	0,10	6,00

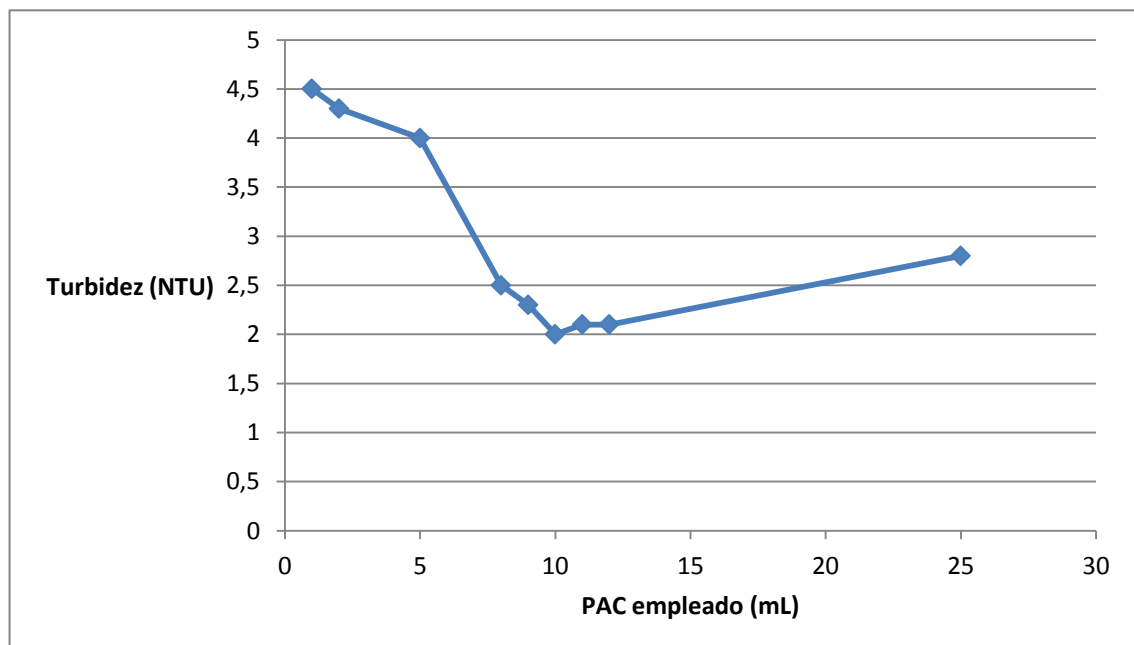
Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

**Gráfico 3. 1 PAC empleado vs Color**



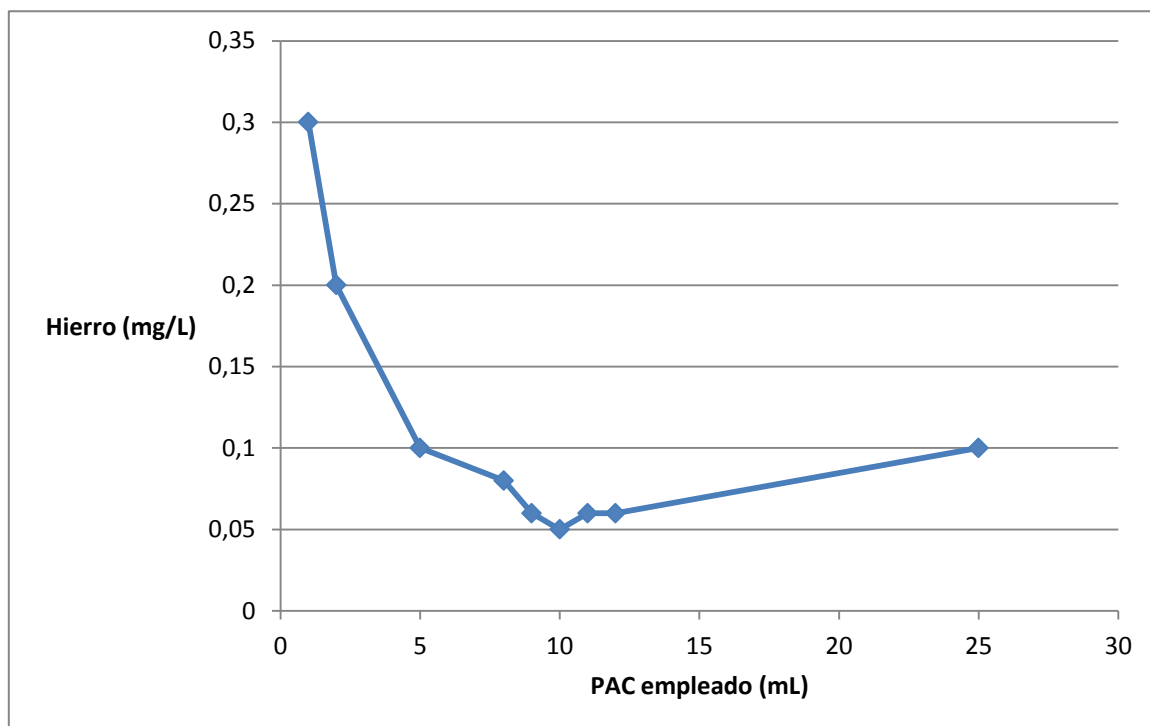
**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

**Gráfico 3. 2 PAC empleado vs Turbidez**



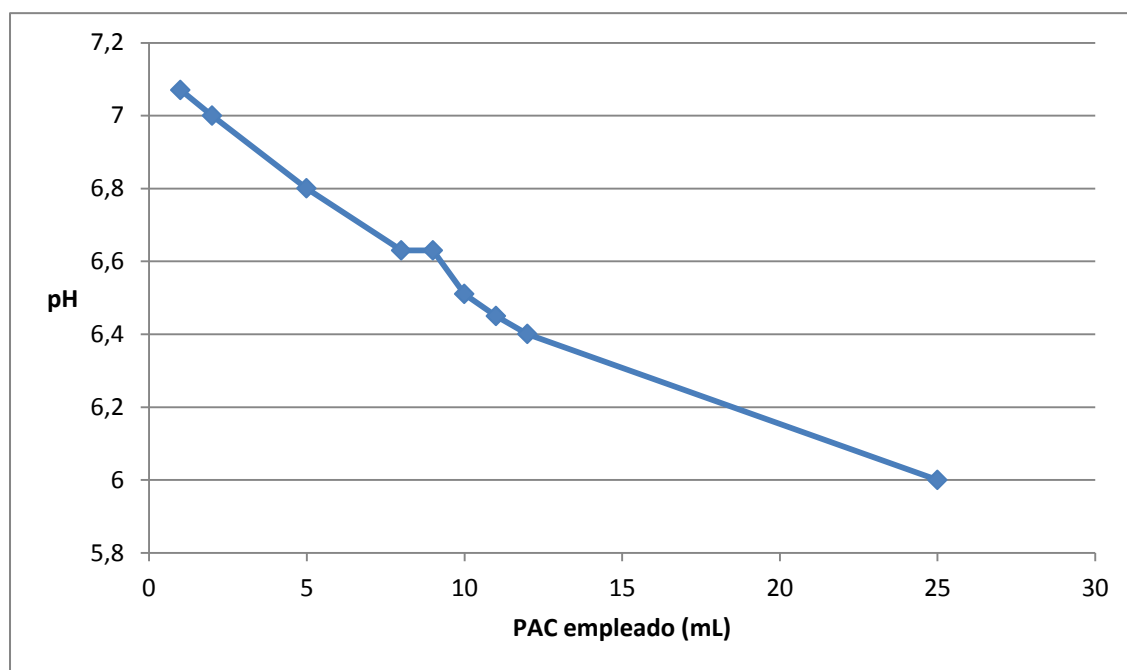
**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

**Gráfico 3. 3 PAC empleado vs Hierro**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

**Gráfico 3. 4 PAC empleado vs pH**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### **3.2.2 RESULTADOS DE LA SITUACIÓN FINAL – CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA**

#### **3.2.2.1 RESULTADOS FÍSICOS-QUÍMICOS**

La caracterización final del agua tratada se efectuó el día 20 de mayo del 2014 en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, se obtuvieron los resultados que se detallan en la siguiente tabla y en los subsiguientes gráficos:

**Tabla 3. 6 Resultados Físicos - Químicos del Agua captada y del agua tratada**

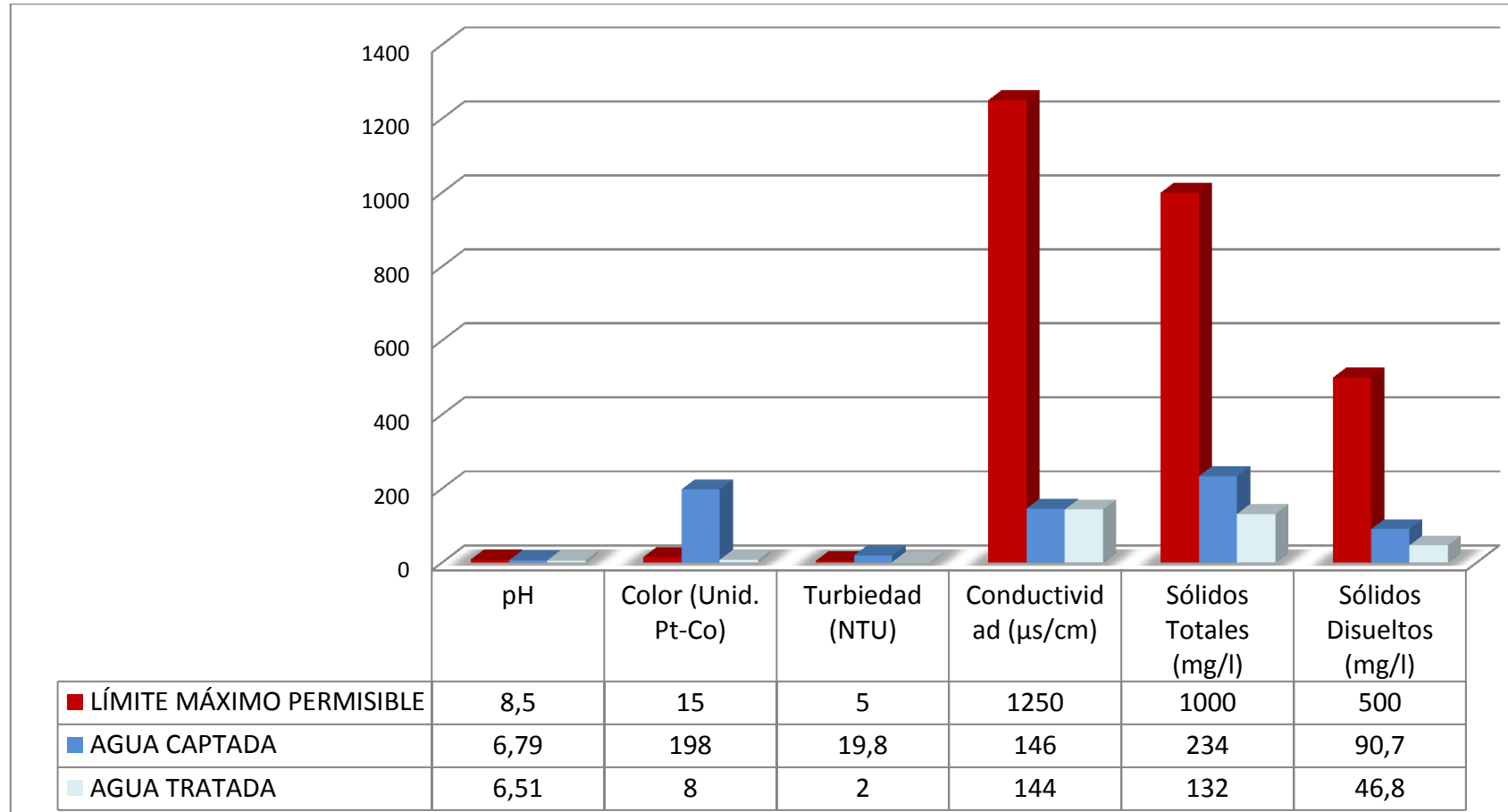
#	PARÁMETRO	UNIDADES	<b>Límite Máximo permisible:</b>  <b>-NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos.</b>  <b>-Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992).</b>	AGUA CAPTADA	AGUA TRATADA
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>					
1	pH	---	6,5 – 8,5	6,79	6,51
2	Color	Unid. (Pt-Co)	15	198	8,00
3	Turbiedad	NTU	5	19,8	2
4	Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	<1250	146	144
5	Sólidos Totales	mg/l	1000	234	132
6	Sólidos Disueltos	mg/l	500	90,7	46,8



PARÁMETROS QUÍMICOS					
7	Dureza	mg/l	300	59,0	36,3
8	Calcio	mg/l	70	12,0	14,4
9	Magnesio	mg/l	30-50	7,1	21,9
10	Alcalinidad	mg/l	250-300	95	102
11	Cloruros	mg/l	250	10,6	14,2
12	Sulfatos	mg/l	200	8,9	22,3
13	Amonios	mg/l	<0,50	0,162	0,082
14	Nitritos	mg/l	0,2	0	0
15	Nitratos	mg/l	50	0,010	0,010
16	Hierro	mg/l	0,30	2,824	0,05
17	Fosfatos	mg/l	<0,30	0,203	0,158
18	Fluoruros	mg/l	1,5	0,63	0,58

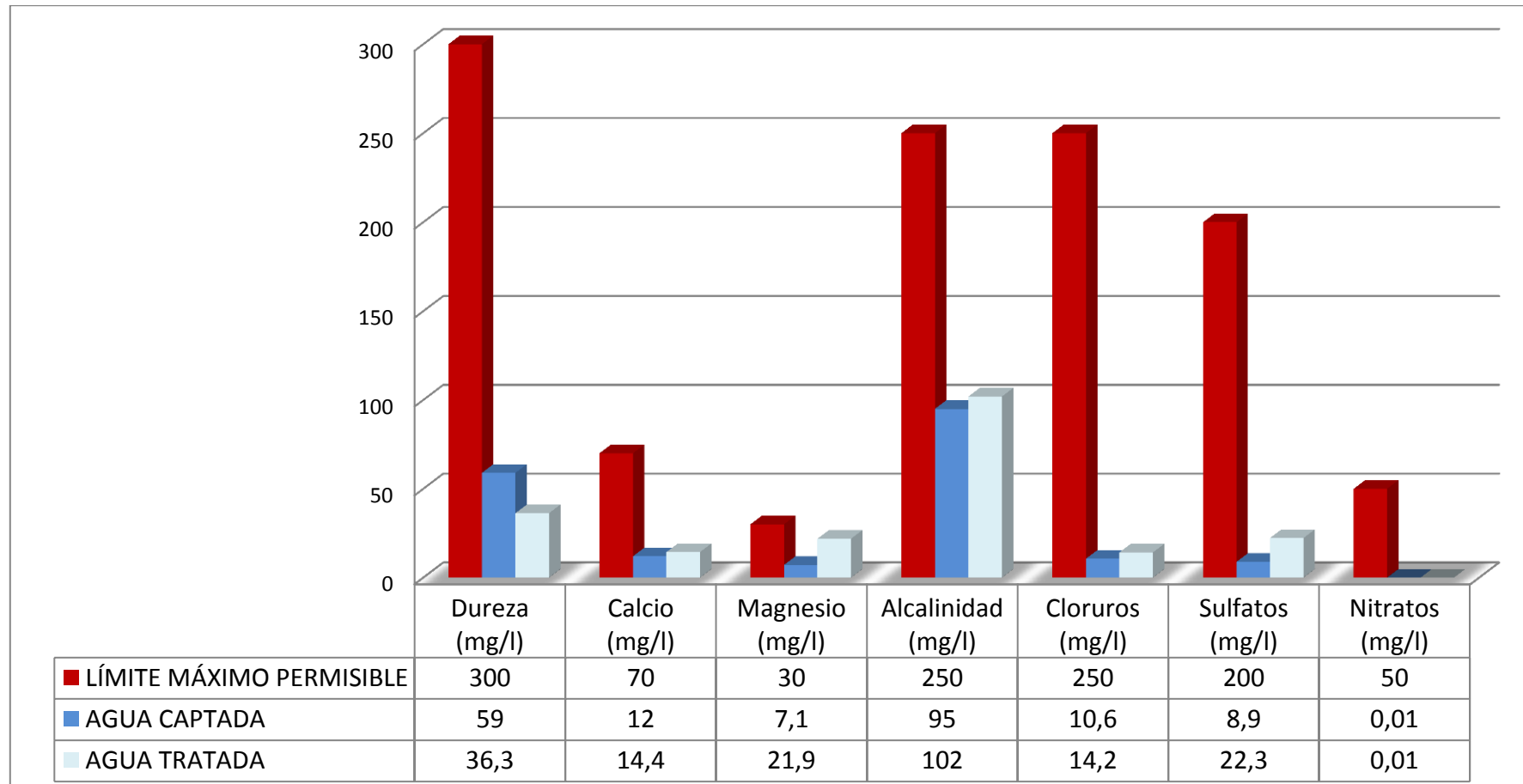
**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias

**Gráfico 3. 5. Comparación de resultados Físicos del Agua Captada y del Agua Tratada**



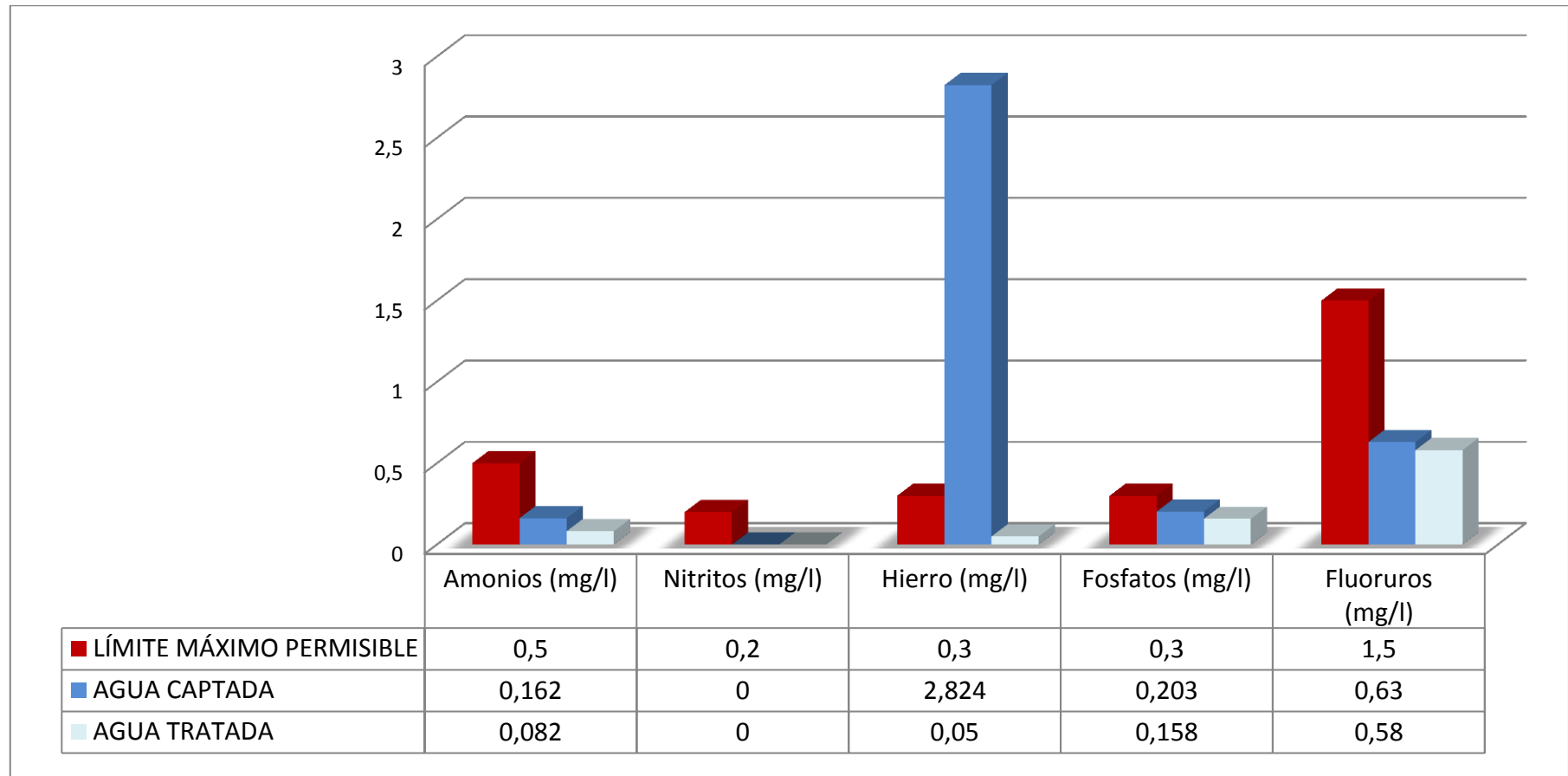
**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

**Gráfico 3. 6 Comparación de resultados Químicos del Agua Captada y del Agua Tratada**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel

Gráfico 3. 7 Comparación de resultados Químicos del Agua Captada y del Agua Tratada (2)



Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

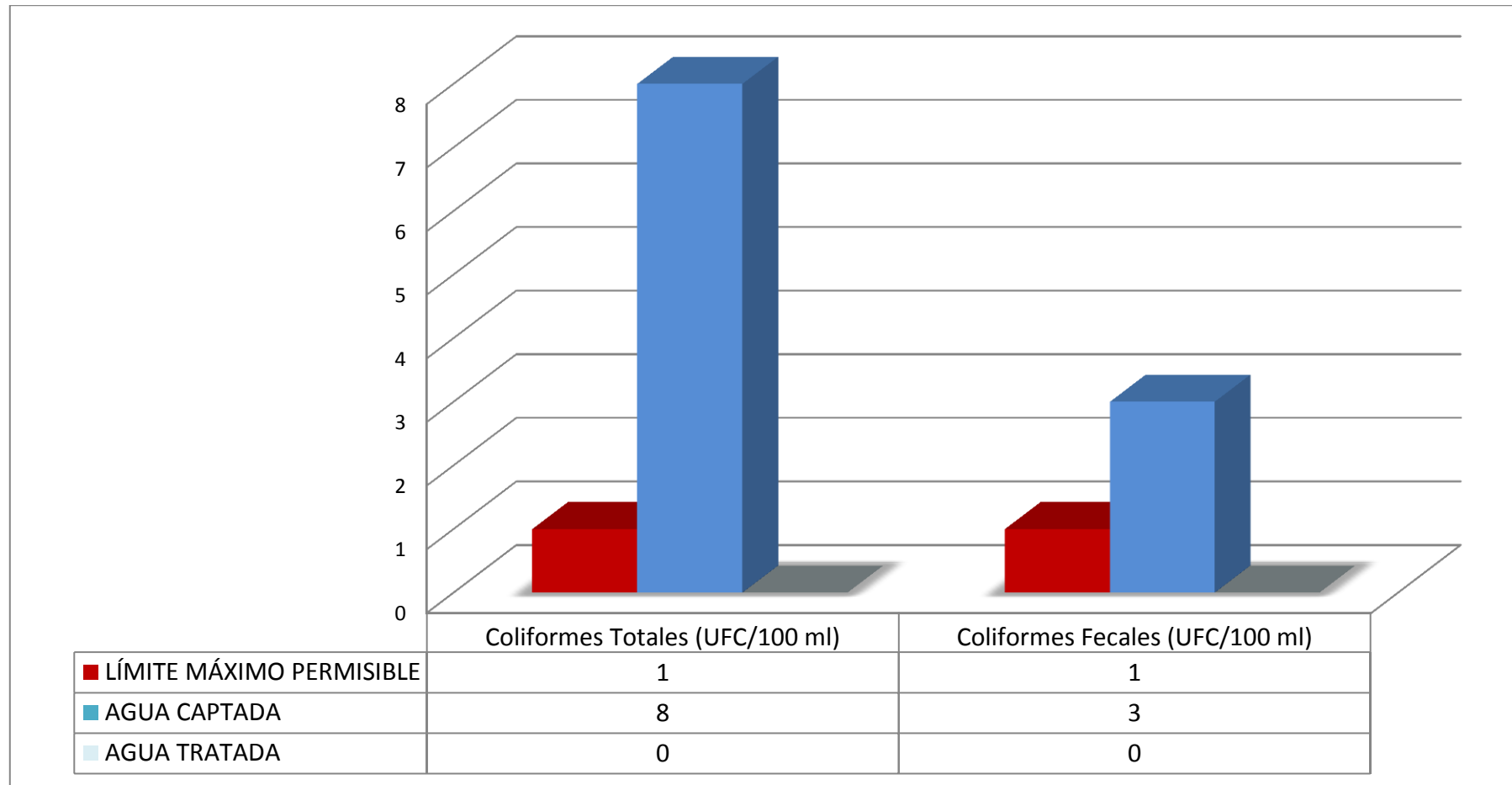
### 3.2.2.2 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

**Tabla 3. 7 Resultados Microbiológicos del agua captada y del agua tratada**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: NTE INEN 1108:2011. CUARTA REVISIÓN. AGUA POTABLE. REQUISITOS.</b>	<b>AGUA CAPTADA</b>	<b>AGUA TRATADA</b>
1) Coliformes Totales	UFC/100 ml	<1	8	0 (Ausencia)
2) Coliformes Fecales	UFC/100 ml	<1	3	0 (Ausencia)

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo

**Gráfico 3. 8 Comparación de resultados Microbiológicos del agua captada y del agua tratada**



**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel

### 3.2.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS ETAPAS DE POTABILIZACIÓN

#### 3.2.3.1 CAUDAL DE DISEÑO

Tabla 3. 8 Resultados de Caudal de Diseño

Cálculo	Símbolo	Unidades				
		hab.	L/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /día
Caudal de Captación	(Q <sub>ca</sub> )	-	3,99	0,00399	14,36	344,74
Caudal de Diseño	(Q)	-	2,55	0,00255	9,18	220,32
Población Actual	(P <sub>a</sub> )	768	-	-	-	-
Población de diseño o población futura en 20 años.	(P <sub>f</sub> )	1018	-	-	-	-

Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.2.3.2 VERTEDERO RECTANGULAR

**Tabla 3. 9 Resultados de Vertedero Rectangular**

<b>Cálculos</b>	<b>Nomenclatura, Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Ancho del vertedero	(B)	0,124	m
Caudal por unidad de ancho	(q)	0,021	m <sup>2</sup> /s
Profundidad crítica de flujo	(h <sub>c</sub> )	0,036	m
Longitud del salto	(L <sub>m</sub> )	0,201	m
Profundidad supercrítica	(h <sub>1</sub> )	0,0102	m
Velocidad del agua en el salto	(v <sub>1</sub> )	2,059	m/s
Número de Froude	(F)	6,51	-
Profundidad subcrítica	(h <sub>2</sub> )	0,089	m
Velocidad del agua en el resalto	(v <sub>2</sub> )	0,236	m/s
Pérdida de energía en el resalto	(h)	0,135	m
Longitud del resalto	(L <sub>j</sub> )	0,473	m
Velocidad media en el resalto	(v <sub>m</sub> )	1,148	m/s
Tiempo de mezcla	(t <sub>m</sub> )	0,412	s
Gradiente de velocidad	(G)	1518,78	s <sup>-1</sup>

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.



### 3.2.3.3 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL

**Tabla 3. 10 Resultados de Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal**

<b>Cálculos</b>	<b>Nomenclatura, Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Distancia o longitud recorrida por el agua	(L)	283,2	m
Volumen de agua	(V)	3,060	m <sup>3</sup>
Sección o área transversal de los canales	(A)	0,011	m <sup>2</sup>
Profundidad del agua	(d)	0,073	m
Profundidad total del tanque de floculación	(Z <sub>Tf</sub> )	0,08	m
Espacio libre entre tabiques y pared del tanque	(e)	0,225	m
Ancho del floculador	(B <sub>F</sub> )	4,5	m
Longitud efectiva de cada canal	(l)	4,2	m
Número requerido de canales	(N)	67	-
Longitud total de la cámara de floculación	(L <sub>T</sub> )	12,03	m
Radio hidráulico	(R)	0,037	m
Pérdidas por fricción en el tanque	(h <sub>f</sub> )	0,184	m
Pérdidas adicionales	(h <sub>a</sub> )	0,563	m
Pérdida de energía total	(h <sub>T</sub> )	0,747	m
Gradiente de velocidad	(G)	66,24	s <sup>-1</sup>
Número adimensional de Camp	(G <sub>i</sub> )	79488	-

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### 3.2.3.4 DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

Tabla 3. 11 Resultados de Dosificación de PAC

Cálculos	Nomenclatura, Símbolo	Valor	Unidades
Concentración de PAC	(C)	10	ppm
Densidad del PAC	( $\rho$ )	1,24	Kg/L
Dosificación de PAC	(x)	1,234	mL/min
		1,777	L/día

Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.2.3.5 SEDIMENTADOR LAMINAR

Tabla 3. 12 Resultados de Sedimentador Laminar

Cálculos	Nomenclatura, Símbolo	Valor	Unidades
Carga superficial o velocidad promedio después de instalar las placas	( $v_{so}$ )	115,2	m/día
Área de sedimentación acelerada	( $A_s$ )	2,208	m <sup>2</sup>
Ancho del tanque de sedimentación	( $B_s$ )	2,50	m
Longitud del área de sedimentación acelerada	( $L_s$ )	0,883	m
Longitud relativa del sedimentador	( $L_r$ )	24	-
Longitud relativa en la región de transición	( $L'$ )	0,579	-
Longitud relativa corregida	( $L_c$ )	23,421	-
Velocidad crítica de sedimentación	( $v_{sc}$ )	8,954	m/día
Número de Reynolds	( $N_{Re}$ )	44,504	-
Volumen del sedimentador	( $V_{Ts}$ )	6,623	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	( $t_{rs}$ )	43,288	min
Número de placas	( $N_p$ )	5	-

Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### 3.2.3.6 FILTRO RÁPIDO DE ARENA

**Tabla 3. 13 Resultados de Filtro Rápido de Arena**

<b>Cálculos</b>	<b>Nomenclatura, Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Número de filtros	$(n_f)$	1	-
Área del filtro	$(A_f)$	1,836	m <sup>2</sup>
Coefficiente de mínimo costo	$(K_c)$	1	-
Longitud del filtro	$(L_f)$	1,355	m
Ancho del filtro	$(a_f)$	1,355	m
Altura del filtro	$(Z_f)$	3,245	m
Área de los orificios laterales	$(A_o)$	0,785	cm <sup>2</sup>
Caudal que ingresa a cada orificio	$(Q_o)$	0,00031	m/s
Número de laterales	$(N_L)$	3	-
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	$(D_T)$	0,023	m
Diámetro de la tubería de salida del filtro	$(D_{Ts})$	0,057	m
Velocidad óptima de lavado del filtro	$(v_l)$	0,75	m/min
Cantidad de agua para el lavado	$(V_l)$	13,77	m <sup>3</sup>

**Fuente:** NÚÑEZ, Ángel.

### 3.2.3.7 DESINFECCIÓN

Tabla 3. 14 Resultados de Desinfección

Cálculos	Nomenclatura, Símbolo	Valor	Unidad
Dosis de cloro necesario	(D)	1,5	mg/L
Periodo de almacenamiento del cloro	(T)	24	horas
Concentración del cloro	(C <sub>Cl</sub> )	5	%
Peso de cloro necesario	(P <sub>Cl</sub> )	0,33	Kg/día
Volumen del hipoclorador	(V <sub>H</sub> )	0,013	m <sup>3</sup>
<b>Tanque de desinfección para mezcla de cloro y almacenamiento</b>			
Volumen del tanque de desinfección para mezcla de cloro	(V <sub>Tc</sub> )	5,049	m <sup>3</sup>
Altura del tanque de desinfección para mezcla de cloro	(H <sub>Tc</sub> )	1,683	m

Fuente: NÚÑEZ, Ángel.

### **3.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez realizada la prueba de jarras se determina que la concentración de policloruro de aluminio es al 1%, ya que si prepara una concentración menor, el PAC no ayuda a formar los flóculos, ni a la remoción de la turbiedad, color y hierro además el pH se reduce mínimamente y se mantiene dentro de los límites de acuerdo a lo esperado ya que varía de 6,79 a 6,51. En cambio una mayor concentración genera un aumento considerable de los sólidos disueltos y por ende la conductividad del agua. Además en un litro de agua a tratar se requieren 10 ml de solución de policloruro de aluminio al 1%, cuyo procedimiento se detalla en el literal 3.1.1.1.

Luego de realizar la caracterización física, química y microbiológica del agua tratada, los 3 parámetros físicos y químicos que se encontraban fuera de norma; color: 198 Unid. (Pt-Co); turbiedad 19,8 NTU; hierro 2,824 mg/l; y los 2 parámetros microbiológicos; coliformes totales: 8 UFC/100 ml y coliformes fecales: 3 UFC/100 ml. Una vez llevado a cabo el tratamiento ya detallado presentan los siguientes valores: color: 8 Unid. (Pt-Co); turbiedad 2 NTU; hierro 0,05 mg/l; coliformes totales: 0 UFC/100 ml y coliformes fecales: 0 UFC/100 ml. Es decir se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y de los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992). Además los parámetros que se encontraban dentro de estos límites antes del tratamiento no tuvieron variaciones drásticas como se muestra en los Gráficos: 3.5; 3.6; 3.7; 3.8.

Con los resultados obtenidos de toda la caracterización del agua cruda y tratada, se comprueba que el diseño ingenieril realizado es eficiente de acuerdo a la secuencia de los dispositivos hidráulicos adoptados para la potabilización del agua de las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia San Isidro de Patulú

# **CAPÍTULO IV**

## **CONCLUSIONES**

**Y**

## **RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO IV**

### **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Se realizó la caracterización físico – química y microbiológica del agua en la captación, la misma que es consumida por los habitantes de las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia de San Isidro de Patulú, expuesto en las Tablas 2.23. y 2.24, identificando que la misma es poco apta para el consumo humano ya que al comparar los resultados de la caracterización con los límites máximos permisibles de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y a los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992), se llegó a la conclusión de que varios de sus parámetros estaban fuera de norma, estos son: color: 198 Unid. (Pt-Co); turbiedad 19,8 NTU; hierro 2,824 mg/l; coliformes totales: 8 UFC/100 ml y coliformes fecales: 3 UFC/100 ml.
- Se estableció el sistema de tratamiento de potabilización más adecuado en base a varias pruebas de tratabilidad que se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, el mismo constará de las siguientes etapas: floculación con policloruro de aluminio, sedimentación laminar, filtración rápida de arena y desinfección.
- Se realizaron los cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de tratamiento de potabilización en función del caudal de diseño, donde la proyección de la población será a 20 años ya que el sistema de tratamiento no fue diseñado para

satisfacer una necesidad actual sino que debe prever el crecimiento de la población en dicho período de tiempo, siendo el caudal de 2,55 L/s que se distribuirá a una población de 1018 habitantes. El proceso de tratamiento que se diseñó para cumplir con los requerimientos de calidad del agua para el consumo humano de las comunidades ya mencionadas consta de un vertedero rectangular, un floculador hidráulico de flujo horizontal con tabiques, un sedimentador laminar, un filtro rápido de arena y un tanque de desinfección, cuyas dimensiones calculadas se mencionan en las tablas de resultados.

- Se efectuó la caracterización físico – química y microbiológica del agua posterior al tratamiento de potabilización, expuesto en la tabla 3.6 y 3.7, donde los parámetros que se encontraban fuera de norma presentaron los siguientes resultados: color: 8 Unid. (Pt-Co); turbiedad 2 NTU; hierro 0,05 mg/l; coliformes totales: 0 UFC/100 ml y coliformes fecales: 0 UFC/100 ml. Además los demás parámetros analizados también se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Cuarta Revisión. Agua Potable. Requisitos y en los Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable-OMS (1992). Observándose un cambio satisfactorio de las condiciones del agua, llegando a cumplir con la Normativa que rige en nuestro medio.
- Se determinaron los costos totales de inversión tentativos que tendría la instalación del sistema de tratamiento de potabilización de agua propuesto. Estos costos supondrían una inversión de \$18098,25 (tabla 3.4.) distribuidos en costos de accesorios, equipos y estructuras, y costos de instalación hidráulica y mano de obra de construcción.



## 4.2 RECOMENDACIONES

- Aplicar el sistema de potabilización propuesto para mejorar la calidad del agua de las comunidades Pichán Central, Chocaví Chico y Chocaví Central de la Parroquia de San Isidro de Patulú, y de esta manera garantizar un mejor abastecimiento de este recurso para los moradores de las comunidades.
- Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental previo a su instalación con la finalidad de saber qué medio físico y biótico se verá afectado con la construcción del sistema de tratamiento, y así tomar las debidas precauciones de construcción y protección al ambiente.
- Para la localización de la planta es necesario realizar un análisis minucioso valorando aspectos tales como: facilidades de acceso, cercanías a la fuente de captación y distribución, topografía del área del proyecto entre otros.
- Se recomienda realizar caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas del agua periódicamente sobre todo considerando que el clima donde están ubicadas las comunidades es sumamente variable, de esta manera se obtendrá una base de datos que permita identificar con facilidad los parámetros que se encuentren fuera de norma y actuar sobre ellos inmediatamente con la finalidad de garantizar el bienestar de los habitantes que son abastecidos de agua por la planta.
- Para un mantenimiento satisfactorio de la planta de potabilización, se debe contar con personal capacitado ya que en ellos caerá la labor de planificar y programar las actividades relacionadas con el cuidado de la planta, además deben contar con la cantidad de herramientas, repuestos y equipos apropiados para llevar a cabo el mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGUA ENTUBADA, CARACTERÍSTICAS.** Francisco Cevallos. 2005.

[http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/VIVIENDA/ficviv\\_V67.htm](http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/VIVIENDA/ficviv_V67.htm)

2014-03-27

**AGUA POTABLE Y SUS CARACTERÍSTICAS.** Grupo Agua RPP. 2008.

<http://radio.rpp.com.pe/cuidaelagua/%C2%BFque-es-el-agua-potable/>

2014-03-27

**ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA.** Henry Glynn. 1999.

<http://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/determinacion-de-solidos.pdf>

2014-03-27

**ARBOLEDA., J.** Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Editorial Mc. Graw Hill, Bogotá – Colombia, 2000. Pp. 51-52.

**BUSTAMENTE, M. y ARGUELLO, M.** Los Páramos de Chimborazo. Un estudio socio ambiental para la toma de decisiones. Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo, Quito - Ecuador. Ecociencia. Pp. 151.

**CALIDAD DEL AGUA.** Crónicas de la República. 2011.

<http://www.banrepcultural.org/evento/el-deterioro-del-agua>

2014-03-27

**COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.** Universidad Politécnica de Cartagena. 2008.

[http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

2014-05-11

**CONDUCCIÓN DE AGUAS.** Tybalt Cyrano. 2011.

<http://democritus.me/2009/06/24/la-potabilizacion-del-agua/>

2014-05-11

**FLOCULACIÓN, TIPOS DE FLOCULADORES.** Ing. Lidia de Vargas. 2010.

[http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_cap6.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap6.pdf)

2014-05-11

**GRUPO FORMASELECT.** Contaminación de suelos y aguas subterráneas, unidad conceptos básicos de edafología e hidrogeología. España. 2007. Pp. 32, 39-41, 49-52.

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).** Norma INEN 1108:2011. Agua Potable. Requisitos. Quito – Ecuador. Pp. 1-5.

**MEDIOS FILTRANTES.** Ma. Teresa Leal Ascencio. 2008.

[https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/curso/dia\\_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf](https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/curso/dia_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf)

2014-05-11

**MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDALES.** Organización Opsoms. 2011.

[http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092\\_aforos/Agua\\_potable\\_para\\_poblaciones\\_rurales\\_\(CAP\[11.%203\]\).pdf](http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_(CAP[11.%203]).pdf)

2014-04-29

**POLICLORURO DE ALUMINIO.** Químicos por Naturaleza S.A. 2012.

<http://www.policlorurodealuminio.com/policloruro-de-aluminio.html>

2014-05-11

**PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA.** Ing. Jorge Tamayo. 2004.

<http://www.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/050201.htm>

2014-03-27

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.** Ing. Jorge Tamayo. 2004.

<http://www.bvsde.opsoms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>

2014-03-27

**ROMERO, J. A.** Purificación del Agua. Colombia, 2ª Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá - Colombia. 2002, Pp. 107-110, 112, 114, 118, 119, 130, 149, 162, 164, 169, 215, 217.

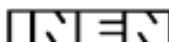
**VILLEGAS, M. P.** Purificación de Aguas. 2ª Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá - Colombia. 2007. Pp.83-84, 95-96.

**ANEXOS**

## ANEXO I

# NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS

CDU: 628.1.033  
ICS: 13.060.20



CIU: 4200  
AL 01.06-401

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE. REQUISITOS	NTE INEN 1 108:2011 Cuarta revisión 2011-06
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p><b>3.1</b> Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p><b>3.1.1</b> <i>Agua potable.</i> Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.</p> <p><b>3.1.2</b> <i>Agua cruda.</i> Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.</p> <p><b>3.1.3</b> <i>Límite máximo permitido.</i> Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).</p> <p><b>3.1.4</b> <i>UFC/ml.</i> Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.</p> <p><b>3.1.5</b> <i>NMP.</i> Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.</p> <p><b>3.1.6</b> <i>mg/l.</i> (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.</p> <p><b>3.1.7</b> <i>Microorganismo patógeno.</i> Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.</p> <p><b>3.1.8</b> <i>Plaguicidas.</i> Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.</p> <p><b>3.1.9</b> <i>Desinfección.</i> Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.</p> <p><b>3.1.10</b> <i>Subproductos de desinfección.</i> Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.</p> <p><b>3.1.11</b> <i>Cloro residual.</i> Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.</p> <p><b>3.1.12</b> <i>Sistema de abastecimiento de agua potable.</i> El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.</p>		

**3.1.13 Sistema de distribución.** Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

#### 4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

**4.1** Los sistemas de abastecimiento de agua potable se acogerán al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

#### 5. REQUISITOS

##### 5.1 Requisitos específicos

**5.1.1** El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<b>Inorgánicos</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN <sup>-</sup>	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 <sup>1)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

<sup>1)</sup> Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>214</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi, <sup>218</sup>Po, <sup>218</sup>Pb, <sup>218</sup>At, <sup>218</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>226</sup>Th, <sup>234</sup>Th, <sup>234</sup>Pa, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>238</sup>Pu

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>86</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>132</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>210</sup>Ra

#### Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP</b>		
Benzo [a]pireno	mg/l	0,0007
<b>Hidrocarburos:</b>		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epilclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrilotriacético	mg/l	0,2

(Continúa)

## Pesticidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

## Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3

## Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:		
▪ Bromodiclorometano	mg/l	0,06
▪ Cloroformo	mg/l	0,3
Ácido tricloroacético	mg/l	0,2

## Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

## Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales <sup>(1)</sup> :	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
- Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
<sup>(1)</sup> ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

(Continúa)



## 6. INSPECCIÓN

### 6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El agua potable debe ser monitoreada permanentemente para asegurar que no se producen desviaciones en los parámetros aquí indicados.

6.1.3 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

## 7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

*(Continúa)*

## ANEXO II

### VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES PARA EL AGUA POTABLE-OMS (1992)

**Tabla 7. Valores Máximos Aceptables para el Agua Potable – OMS (1992)**

SUSTANCIA	CONCENTRACION	
	MÁXIMA ACEPTABLE	MÍNIMA TOLERABLE
Sólidos totales	500 mg/L	1500 mg/L
Color	5 unidades *	50 unidades
Turbiedad	5 unidades **	25 unidades
Sabor	no rechazable	-
Olor	no rechazable	-
Hierro (Fe)	0,3 mg/L	1,0 mg/L
Manganeso (Mn)	0,1 mg/L	0,5 mg/L
Cobre (Cu)	1,0 mg/L	1,5 mg/L
Zinc (Zn)	5,0 mg/L	15 mg/L
Calcio (Ca)	75 mg/L	200 mg/L
Magnesio (Mg)	50 mg/L	150 mg/L
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	200 mg/L	400 mg/L
Cloruros (Cl)	200 mg/L	600 mg/L
pH	7,0 – 8,0	6,5 – 9,2
Mg+Sulfato de sodio	500 mg/L	1000 mg/L
Compuestos fenólicos como fenol	0,001 mg/L	0,002 mg/L
Contaminantes Orgánicos	0,2 mg/L	0,5 mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0,2 mg/L	0,5 mg/L

\* Escala platino cobalto

\*\* Unidades de turbiedad


### ANEXO III

#### PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATMÓSFERA

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

## ANEXO IV

### FICHA TÉCNICA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

	<b>FICHA TÉCNICA</b> <b>POLICLORURO DE ALUMINIO – PAC</b> <b>QUIMIPAC</b>	<b>FTP</b> <b>PAG. 1 DE 1</b> <b>VERSION: 1</b>
---	---	---

#### PROPIEDADES

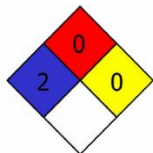
FÓRMULA:  $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$

SINÓNIMOS: PAC, QUIMIPAC

PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol

#### REGULACIONES

RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo



#### USOS PRINCIPALES

El policloruro de aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.

#### PROPIEDADES TÍPICAS

Apariencia:	Sólido Amarillo
pH (1% Sln):	3,5 – 5
Basicidad %:	75 – 90
$Al_2O_3$ %:	30±1
Insolubles %:	Máx. 5

#### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El PAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol.

El PAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación.

El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg.

#### PRECAUCIÓN

Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto.

En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua.

En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua.

En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco.

En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos.

En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.

## ANEXO V

### RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M1

## ESPOCH

### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### **INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

*Solicitado por:* Sr. Angel Roberto Nuñez

*Fecha de análisis:* 27 de marzo del 2014

*Tipo de muestra:* Agua para consumo doméstico. Tanques de captación

*Localidad:* Cominadas Pichán y Chocavi, Parroquia San Isidro de Patulú. Gu

#### **TRABAJO DE TESIS**

Código: LAT 042-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	200.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.73
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	151
Turbiedad	UNT	5	18.3
Cloruros	mg/L	250	11.3
Dureza	mg/L	200	48.0
Calcio	mg/L	70	11.2
Magnesio	mg/L	30 - 50	4.9
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	102.0
Sulfatos	mg/L	200	8.5
Amonios	mg/L	< 0.50	0.108
Nitritos	mg/L	0.01	<0.01
Nitratos	mg/L	< 40	0.010
Fluoruros	mg/L	1.5	0.8
Hierro	mg/L	0.30	2.436
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.222
Sólidos Suspendidos	mg/L		8.0
Sólidos Totales	mg/L	1000	204.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	93.6

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

*Observaciones:* Valores de turbiedad, color y hierro fuera de norma.

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R. ESPOCH  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio.  
El analisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.



## ANEXO VI

### RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M2

## ESPOCH

### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS

#### FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sr. Angel Roberto Nuñez

Fecha de análisis: 2 de abril del 2014

Tipo de muestra: Agua para consumo doméstico. Tanques de captación

Localidad: Cominadas Pichán y Chocavi, Parroquia San Isidro de Patulú. Gu

#### TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 045-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	260
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.67
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	138
Turbiedad	UNT	5	21.6
Cloruros	mg/L	250	11.3
Dureza	mg/L	200	56.0
Calcio	mg/L	70	12.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	5.8
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	102.0
Sulfatos	mg/L	200	9.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.310
Nitritos	mg/L	0.01	<0.01
Nitratos	mg/L	< 40	0.010
Fluoruros	mg/L	1.5	0.6
Hierro	mg/L	0.30	3.360
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.150
Sólidos Suspendidos	mg/L		54.0
Sólidos Totales	mg/L	1000	248.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	85.6

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de turbiedad, color y hierro fuera de norma.

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R. SPOCH  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio. El analisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

**ANEXO VII**  
**RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M3**

**ESPOCH**

**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador -

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

*Solicitado por:* Sr. Angel Roberto Nuñez

*Fecha de análisis:* 4 de abril del 2014

*Tipo de muestra:* Agua para consumo doméstico. Tanques de captación

*Localidad:* Cominadas Pichán y Chocavi, Parroquia San Isidro de Patulú. Gr

**TRABAJO DE TESIS**

*Código:* LAT 048-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	160
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.86
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	152
Turbiedad	UNT	5	17.9
Cloruros	mg/L	250	10.6
Dureza	mg/L	200	68.0
Calcio	mg/L	70	11.2
Magnesio	mg/L	30 - 50	9.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	90.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	91.8
Sulfatos	mg/L	200	8.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.110
Nitritos	mg/L	0.01	<0.01
Nitratos	mg/L	< 40	0.010
Fluoruros	mg/L	1.5	0.4
Hierro	mg/L	0.30	2.490
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.290
Sólidos Suspendidos	mg/L		6.0
Sólidos Totales	mg/L	1000	244.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	94.2

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

*Observaciones:* Valores de turbiedad, color y hierro fuera de norma.

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio.  
El analisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

## ANEXO VIII

### RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M4

## ESPOCH

### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### **INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

*Solicitado por:* Sr. Angel Roberto Nuñez

*Fecha de análisis:* 9 de abril del 2014

*Tipo de muestra:* Agua para consumo doméstico. Tanques de captación

*Localidad:* Cominadas Pichán y Chocavi, Parroquia San Isidro de Patulú. Gu

#### **TRABAJO DE TESIS**

Código: LAT 049-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	170
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.89
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	144
Turbiedad	UNT	5	21.3
Cloruros	mg/L	250	9.2
Dureza	mg/L	200	64.0
Calcio	mg/L	70	12.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	7.8
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	90.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	91.8
Sulfatos	mg/L	200	10.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.120
Nitritos	mg/L	0.01	<0.01
Nitratos	mg/L	< 40	0.010
Fluoruros	mg/L	1.5	0.7
Hierro	mg/L	0.30	3.010
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.150
Sólidos Suspendidos	mg/L		28.0
Sólidos Totales	mg/L	1000	240.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	89.3

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

*Observaciones:* Valores de turbiedad, color y hierro fuera de norma.

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio. El analisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.



# ANEXO IX

## RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIÓLOGO DEL AGUA CRUDA – M1



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 009 – 14

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Angel Nuñez **INFORME Nº:** 009 – 14  
**EMPRESA:** TESIS ESPOCH **Nº SE:** 009– 14  
**DIRECCIÓN:** Álamos II **FECHA DE RECEPCIÓN:** 27 – 03 – 14  
**TELÉFONO:** 032306826 **FECHA DE INFORME:** 29 – 03 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Comunidad Pichán y Chocavi (San Isidro de Patulú) **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 025 -14 Agua captación

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 063 -14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	LIMITE MÁX.PERMITIDO NORMA INEN 1108:2011	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	8	< 1	N/A	27-03-14
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 – B	3	< 1	N/A	27-03-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## ANEXO X

### RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIÓLOGO DEL AGUA CRUDA – M2



#### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 030 – 14

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Angel Nuñez  
**EMPRESA:** TESIS ESPOCH  
**DIRECCIÓN:** Álamos II

**INFORME Nº:** 030 – 14  
**Nº SE:** 030– 14

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 04 – 04 – 14

**TELÉFONO:** 032306826

**FECHA DE INFORME:** 06 – 04 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Comunidad Pichán y Chocavi (San Isidro de Patulú) **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 070 -14 Agua captación

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 070 -14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	LÍMITE MÁX.PERMITIDO NORMA INEN 1108:2011	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	9	< 1	N/A	04-04-14
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 – B	4	< 1	N/A	04-04-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## ANEXO XI

### RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIÓLOGICO DEL AGUA CRUDA – M3



#### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 031 – 14

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Angel Nuñez **INFORME Nº:** 031 – 14  
**EMPRESA:** TESIS ESPOCH **Nº SE:** 031– 14  
**DIRECCIÓN:** Álamos II  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 09 – 04 – 14  
**TELÉFONO:** 032306826 **FECHA DE INFORME:** 11 – 04 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Comunidad Pichán y Chocaví (San Isidro de Patulú) **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 071 -14 Agua captación

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 071 -14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	LÍMITE MÁX.PERMITIDO NORMA INEN 1108:2011	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	7	< 1	N/A	09-04-14
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 – B	2	< 1	N/A	09-04-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TÉCNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

**ANEXO XII**  
**RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS**  
**DE LOS PARÁMETROS FUERA DE NORMA DEL AGUA TRATADA**



**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**



Nº SE: 026 – 14

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Sr. Angel Nuñez **INFORME N°:** 026 – 14  
**EMPRESA:** TESIS ESPOCH **N° SE:** 026– 14  
**DIRECCIÓN:** Álamos II  
**TELÉFONO:** 032306826 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 20 – 05 – 14  
**FECHA DE INFORME:** 23 – 05 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Comunidad Pichán y Chocaví (San Isidro de Patulú) **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 063 -14 Agua tratada

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA – 063 -14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	LÍMITE MÁX.PERMITIDO NORMA INEN 1108:2011	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	2,00	5	N/A	20-05-14
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	8	15	N/A	20-05-14
* Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0,05	0,3	N/A	20-05-14
* Coliformes totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	Ausencia	< 1	N/A	20-05-14
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 – B	Ausencia	< 1	N/A	20-05-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara R.  
Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

**ANEXO XIII**  
**PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE**  
**ALUMINIO (PAC)**

<b>DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)</b>
<p>La dosificación del policloruro de aluminio se realizará por vía húmeda, mediante el siguiente procedimiento:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) Pesar la cantidad adecuada de policloruro de aluminio.</li><li>2) Aforar el caudal de agua que ingresa al tanque de solución.</li><li>3) Preparar la solución de policloruro de aluminio al 1%.</li><li>4) Calibrar la bomba dosificadora y mantenerla siempre calibrada para asegurar la exactitud en la dosificación.</li><li>5) Bombear la solución de PAC mediante la bomba dosificadora hasta el punto de mezcla.</li></ol>

**ANEXO XIV**  
**PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DEL FILTRO RÁPIDO DE**  
**ARENA**

**LAVADO DEL FILTRO RÁPIDO DE ARENA**

Para el lavado del filtro rápido de arena se sugiere lo siguiente:

- 1) La noche anterior al día de la limpieza, cerrar el ingreso de agua cruda a la caja del filtro y se deja filtrar con tasa declinante durante la noche, para evitar el desperdicio de agua durante la eliminación de la capa sobrenadante.
- 2) A la mañana siguiente, apenas aclara el día, el personal encargado de esta tarea debe estar listo para iniciar la limpieza, tratando de concluirla antes de la salida del sol, para proteger de su efecto lesivo a la formación biológica del lecho filtrante.
- 3) El lavado del filtro se realizará en contraposición, el cual se hace a contracorriente donde el agua ingresará por la parte inferior de filtro y será evacuada por la parte superior del mismo, para eliminar cualquier resto de suciedad.
- 4) Es indispensable que el lavado sea efectivo para devolver al lecho filtrante sus cualidades iniciales, sin las cuales, el filtro iría perdiendo eficacia y el material filtrante debería retirarse para su limpieza completa o para ser reemplazado.
- 5) El lavado del filtro se recomienda realizarlo por lo menos una vez al mes, dependiendo de la carga contaminante que contenga el medio filtrante.
- 6) Cada cinco años se debe realizar un lavado completo del filtro y consiste en la limpieza del fondo del filtro, del sistema de drenaje, de la caja del filtro y el lavado de la grava y de la arena.

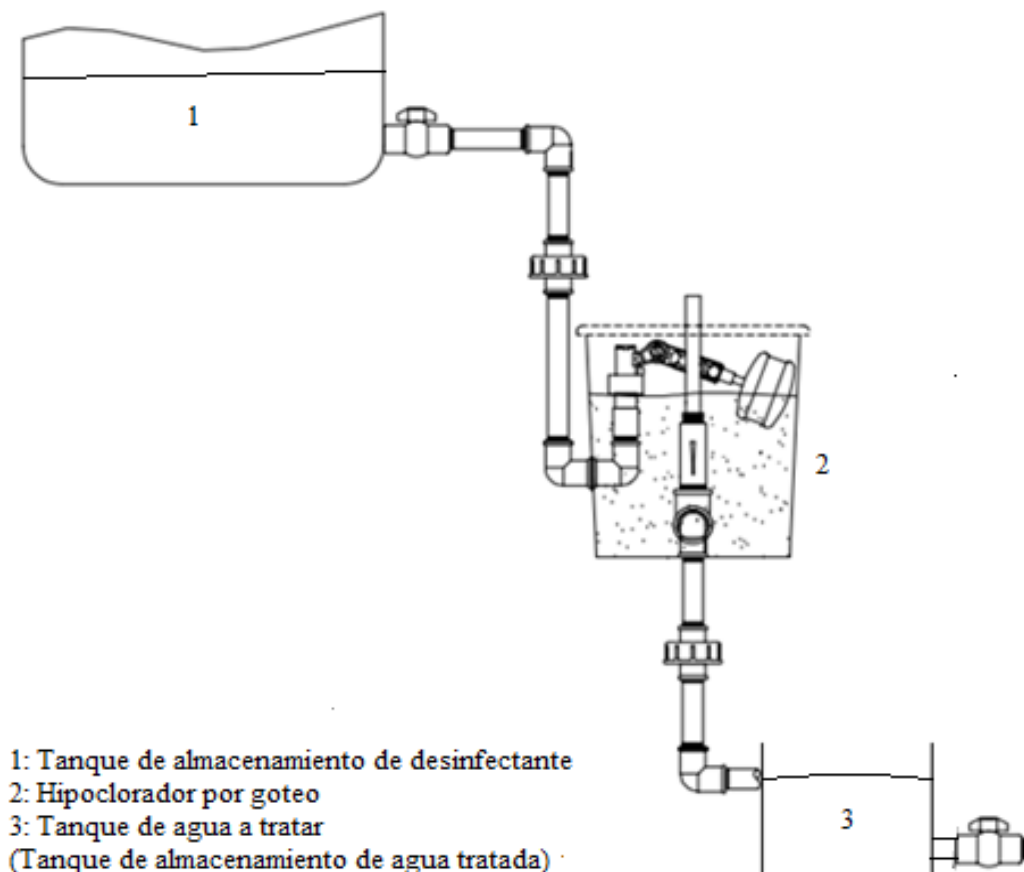


## ANEXO XV

### PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO

#### DOSIFICACIÓN DE CLORO

El cloro se dosificará mediante un hipoclorador por goteo (2), este recibirá al cloro desde un tanque de almacenamiento del desinfectante (1), permitiendo transferir la solución de cloro directamente al tanque de agua a tratar que también tendrá la función de ser el tanque de almacenamiento de agua tratada (3), el mismo que estará ubicado debajo del hipoclorador de goteo, es aconsejable que este se encuentre protegido con una caseta para evitar el deterioro del cloro. El procedimiento de la dosificación de cloro se detalla en el siguiente gráfico:



**ANEXO XVI**  
**PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DEL HIPOCLORADOR**  
**POR GOTEO**

**HIPOCLORADOR POR GOTEO**

El cloro se dosificará mediante un hipoclorador por goteo, para la instalación del mismo se seguirán los siguientes pasos:

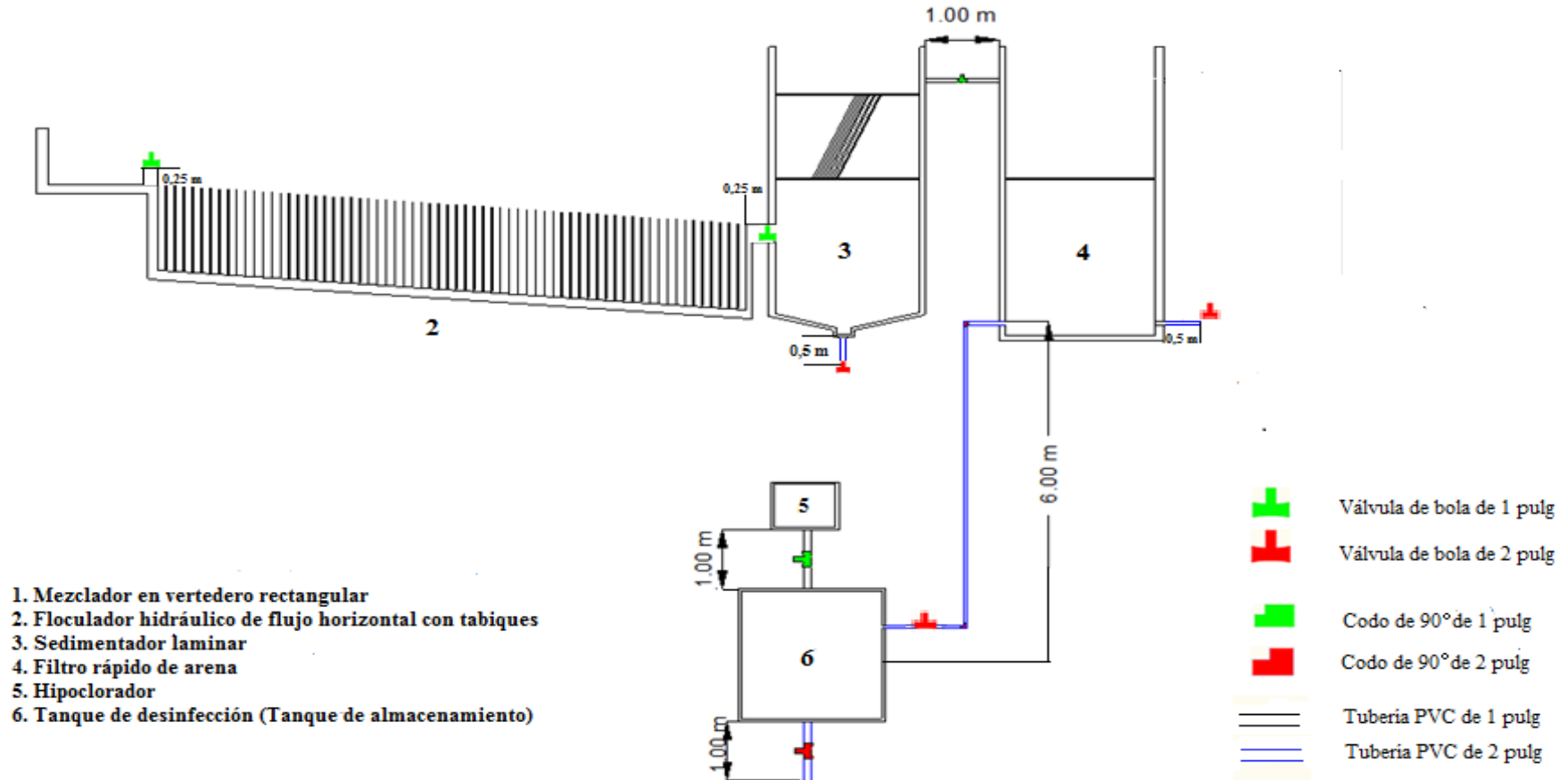
- 1) Conectar la entrada del dosificador a la salida del tanque de almacenamiento del desinfectante.
- 2) Conectar la tubería de alimentación desde el dosificador al punto de aplicación, es decir, al tanque de agua que se va a desinfectar.
- 3) Asegurarse que el control de dosificación esté cerrado. Luego abrir la llave del tanque de almacenamiento del desinfectante para llenar el dosificador.
- 4) Una vez lleno el dosificador, girar el dispositivo de control hasta obtener el caudal de aplicación del desinfectante. Hasta obtener la cantidad deseada de desinfectante se puede ayudar con un recipiente de volumen conocido y un cronómetro.

Nota: La cantidad de cloro que se va a dosificar equivale a la demanda de cloro a la que debe adicionarse la cantidad de cloro residual esperada en el extremo de la red de distribución de agua; en este caso, el hipoclorito de sodio se aplicará al agua con una dosificación de 1,5 mg/l. Se sigue este procedimiento para la dosificación del mismo:



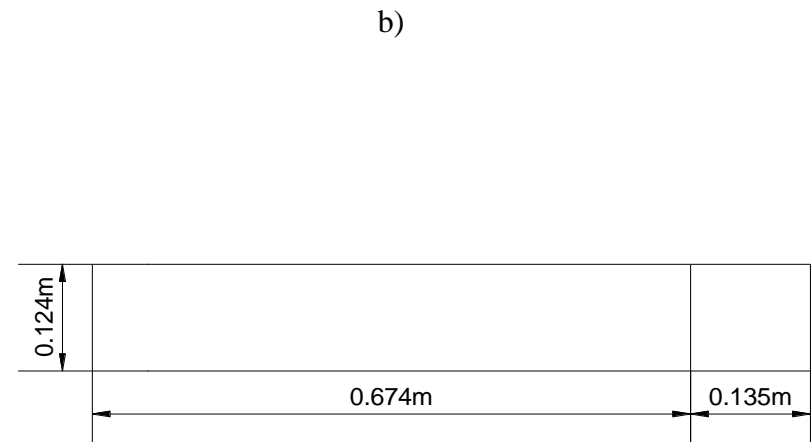
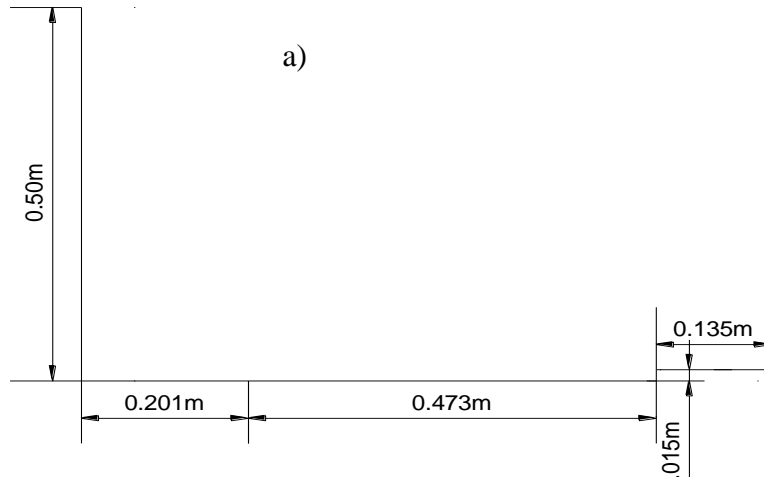
## ANEXO XVII

### ESQUEMA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA



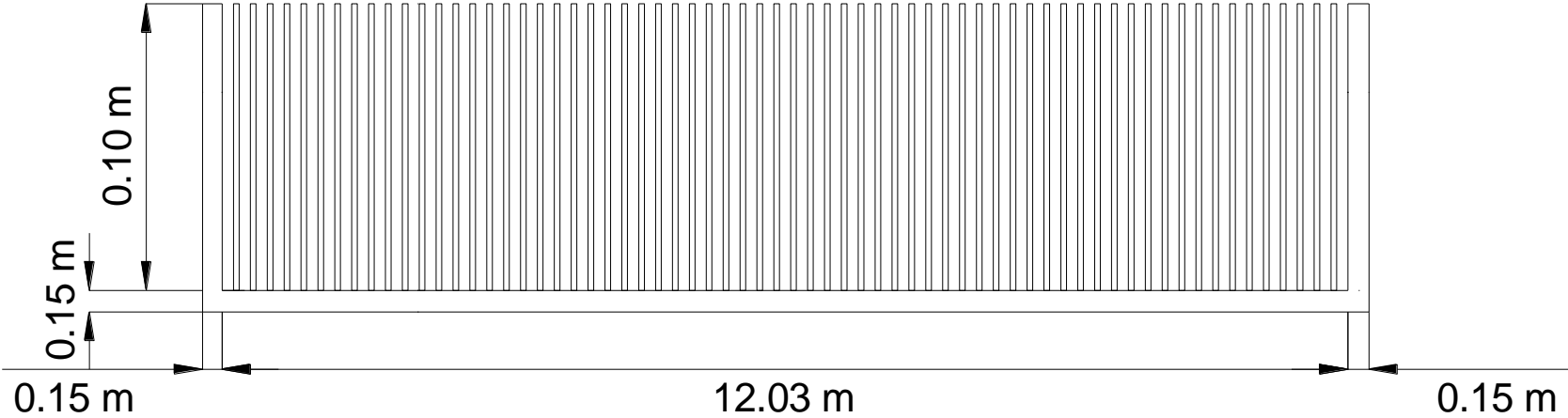
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	ESQUEMA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar				
Equipos y Accesorios de la Planta de Potabilización de agua	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	1		18/06/14

**ANEXO XVIII**  
**MEZCLADOR – VERTEDERO RECTANGULAR**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	MEZCLADOR - VERTEDERO RECTANGULAR		
a) Vista Frontal b) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar		2		18/06/14
	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información				

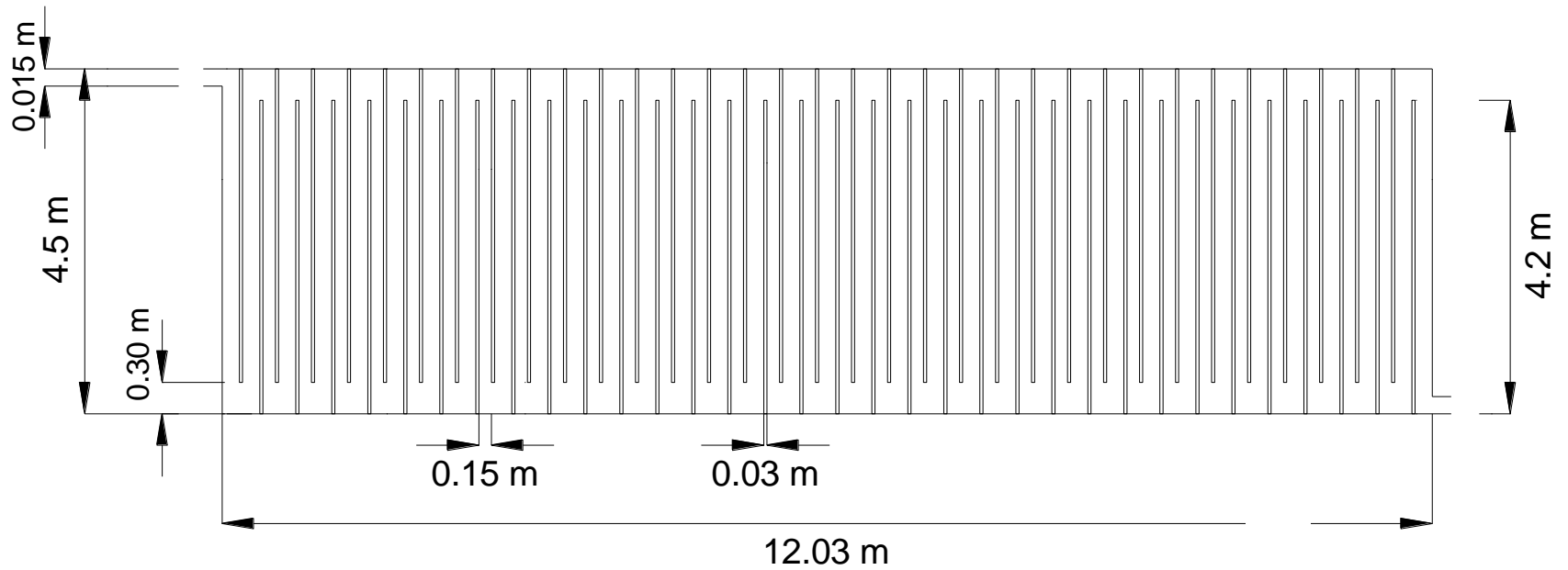
**ANEXO XIX**  
**VISTA FRONTAL DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	VISTA FRONTAL DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL		
Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar		3		18/06/14
	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información				

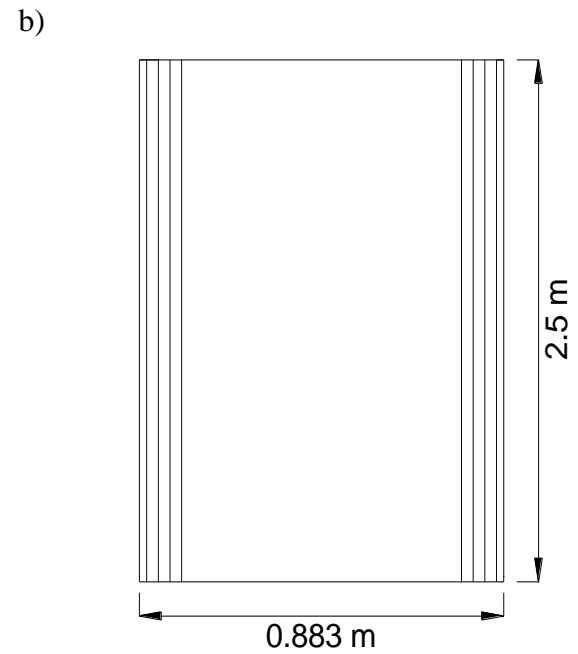
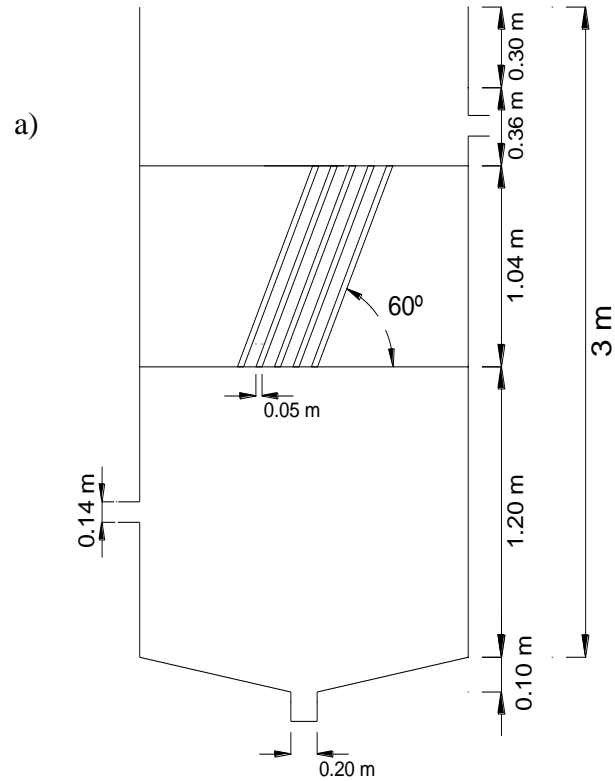
## ANEXO XX

### VISTA PLANTA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL



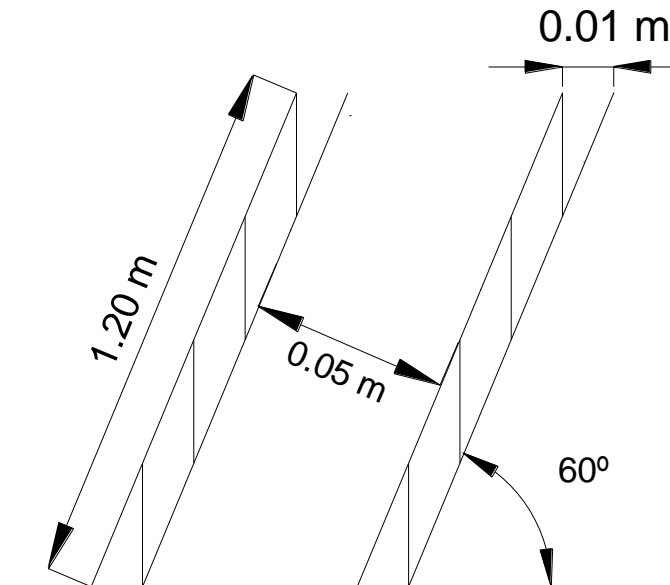
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	VISTA PLANTA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL		
Vista Planta	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar		4		18/06/14
	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información				

**ANEXO XXI**  
**SEDIMENTADOR LAMINAR**



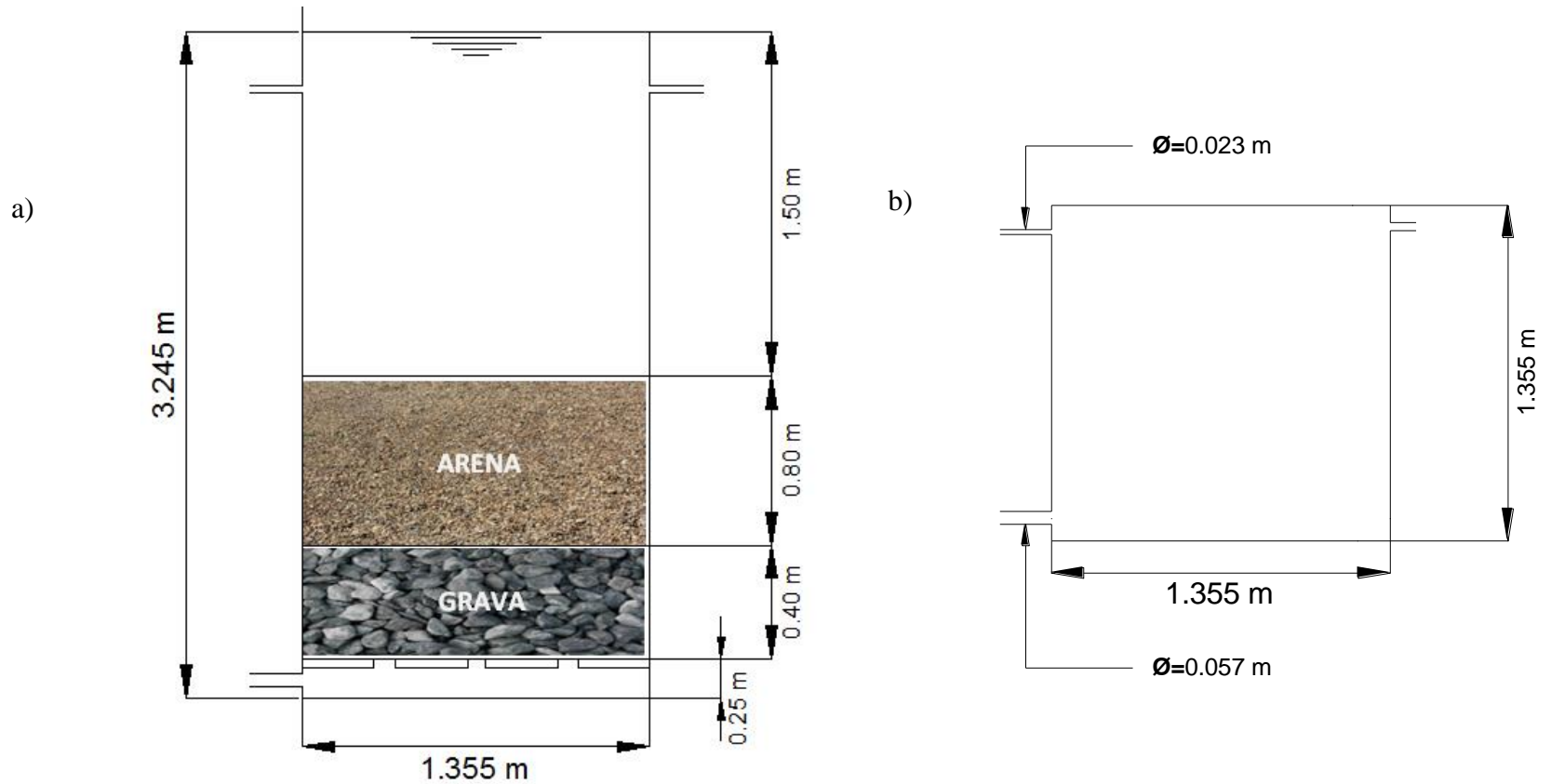
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTADOR LAMINAR		
a) Vista Frontal b) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Certificado	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ			
	<input type="checkbox"/> Aprobado		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Calificar		5		18/06/14

**ANEXO XXII**  
**ESQUEMA DE LAS PLACAS DEL SEDIMENTADOR LAMINAR**



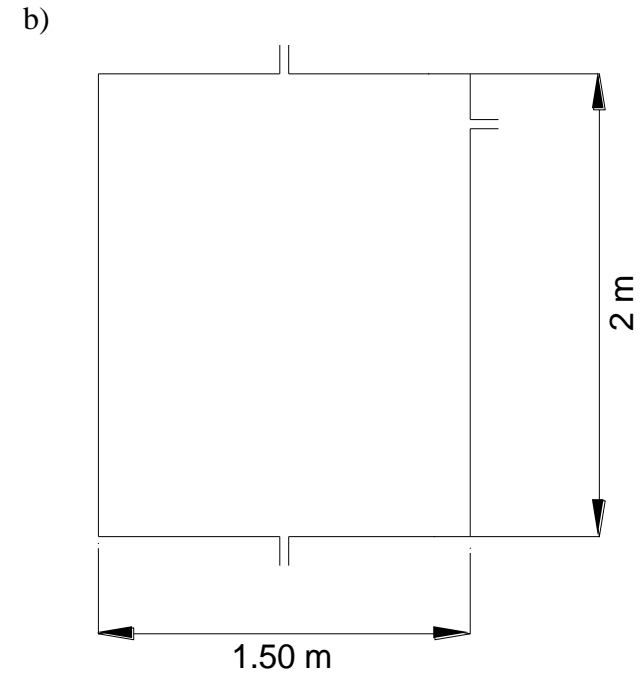
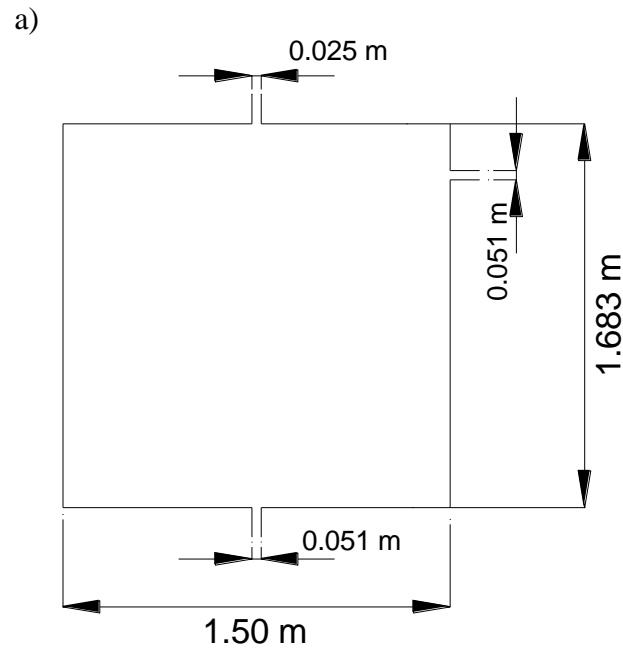
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PLACAS DEL SEDIMENTADOR LAMINAR		
Dimensiones de las placas	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	Lámina	Escala	Fecha
			6		18/06/14

**ANEXO XXIII**  
**FILTRO RÁPIDO DE ARENA**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	FILTRO RÁPIDO DE ARENA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar				
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar				
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	Lámina	Escala	Fecha
b) Vista Planta				7		18/06/14

**ANEXO XXIV**  
**DESINFECCIÓN (TANQUE DE CLORACIÓN)**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	DESINFECCIÓN (TANQUE DE CLORACIÓN)		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar				
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar				
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA ÁNGEL NÚÑEZ FALCONÍ	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
b) Vista Planta				8		18/06/14